

36º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UFRN – CICT 2025



36º cict

Planeta Água: a cultura oceânica
para enfrentar as mudanças
climáticas no meu território.

ANAIS

EXPEDIENTE

APRESENTAÇÃO

O Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica (CICT) é um evento aberto à comunidade no qual todos os aproximadamente 1.700 alunos de Iniciação Científica e Tecnológica da UFRN (bolsistas e voluntários) apresentam os resultados de suas pesquisas desenvolvidas ao longo de um ano, como cumprimento de um plano de trabalho elaborado e orientado por um professor/pesquisador do quadro permanente da Instituição.

O CICT está entre as ações inseridas no âmbito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica da UFRN, que possui entre seus objetivos: a) Contribuir para a formação e engajamento de recursos humanos em atividades de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação; b) Contribuir para a formação científica de recursos humanos que se dedicarão a qualquer atividade profissional; e c) Contribuir para a formação de recursos humanos que se dedicarão ao fortalecimento da capacidade inovadora das empresas no País.

A 36ª edição do Congresso teve como tema “Planeta Água: a cultura oceânica para enfrentar as mudanças climáticas no meu território”, estando alinhada aos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU. Ao submeter os trabalhos ao Congresso, os alunos indicaram os objetivos da Agenda 2030 aos quais suas pesquisas estavam relacionadas. Essa iniciativa visa estimular a pesquisa científica e tecnológica voltada para a busca por soluções para os desafios sociais contemporâneos. Em uma etapa inicial do CICT, denominada Mostra de Trabalhos e Vídeos de Ciência, Tecnologia e Inovação, foram realizadas as apresentações dos trabalhos submetidos pelos participantes do evento. As apresentações ocorreram de forma assíncrona, por meio de arquivos digitais (trabalho completo e vídeo), sendo disponibilizadas não só aos avaliadores do congresso pelos Sistemas da UFRN, mas também ao público em geral por meio do site do evento (www.cic.propesq.ufrn.br). Após essa etapa inicial, que ocorreu sob o formato virtual, os 48 melhores trabalhos do evento foram selecionados para apresentação oral em uma etapa complementar do congresso que ocorreu de forma presencial.

Os alunos concorreram ao 9º Prêmio Destaque na Iniciação Científica e Tecnológica da UFRN, que foi instituído pela Pró-Reitoria de Pesquisa em 2017 para reforçar as ações dos programas institucionais de iniciação científica e tecnológica. O prêmio contemplou as categorias Trabalho Destaque de Iniciação Científica e Tecnológica e Vídeo Destaque de Iniciação Científica e Tecnológica) e na subcategoria de Inovação. Os premiados foram agraciados com bolsas mensais de até R\$ 1100,00 (mil e cem reais) durante o período de um ano. Os orientadores dos alunos premiados adquiriram precedência em relação aos demais para efeitos de concorrência no Edital de Bolsas de Pesquisa da UFRN em 2026.

Ainda em 2025, a Pró-Reitoria de Pesquisa realizou a 7ª Edição do Prêmio Pesquisador Destaque da UFRN, certame instituído em 2019 e que é concedido anualmente aos pesquisadores da instituição que tenham apresentado relevantes contribuições para o desenvolvimento da ciência em cada uma das três grandes áreas do conhecimento: Ciências da Vida; Ciências Exatas, da Terra e Engenharias; e Ciências Humanas e Sociais, Letras e Artes. Além de troféu e certificado, todos os premiados foram contemplados com auxílio no valor de R\$ 10.000,00 (dez mil reais) para custear despesas específicas, discriminadas em edital, e tiveram a oportunidade de compartilhar suas experiências com os participantes do CICT 2025 em uma mesa redonda.

O congresso cumpriu três funções valiosas para o desenvolvimento da ciência na instituição: inserção dos discentes em um ambiente acadêmico de publicação e apresentação dos resultados da pesquisa; divulgação científica por meio dos vídeos que utilizam uma linguagem científica, porém acessível a todos; e, por fim, a popularização da ciência.

PROGRAMAÇÃO

Outubro – 2025

15/10 Divulgação da lista dos pré-selecionados para concorrer ao 9º Prêmio Destaque na Iniciação Científica e Tecnológica da UFRN

Novembro – 2025

03/11 Abertura oficial do evento

03/11 a 07/11 CICT 2025 – Etapa presencial

04/11 a 06/11 Sessões de Apresentações Orais

07/11 Cerimônia de premiação e encerramento do evento

CT

CENTRO DE TECNOLOGIA

CÓDIGO: ET0762

AUTOR: GIOVANNA XAVIER DE SOUZA SILVA

COAUTOR: ARIADNE DE SOUZA SILVA

COAUTOR: GABRIEL DOS SANTOS VASCONCELOS

ORIENTADOR: RUBENS MARIBONDO DO NASCIMENTO

TÍTULO: Impacto da Adição de Carbetto de Tântalo e da Moagem de Alta Energia nas Propriedades Microestruturais e Mecânicas dos Compósitos de NbC-FeNi-C.

Resumo

O carbeto de nióbio (NbC), é uma alternativa promissora ao WC-Co para ferramentas de corte. O NbC é vantajoso por seu baixo custo, alta disponibilidade, e propriedades como elevada dureza, baixa reatividade e alta condutividade térmica. A pesquisa investigou o efeito da moagem de alta energia (MAE) e da adição de carbeto de tântalo (TaC) nas propriedades estruturais e microestruturais de pós de NbC-FeNi-C e NbC-FeNi-TaC-C moídos. A moagem foi realizada por períodos de 2.5 h, 5 h, 7.5 h, 10 h, 12.5 h e 15 h a 400 RPM, em meio umido. A análise dos pós precursores e moídos foram feitas por difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de raios X por dispersão de energia (MEV-FEG-EDS), avaliando a morfologia e a homogeneidade da dispersão das partículas. Os resultados mostraram que a MAE refinou os pós, reduzindo o tamanho dos cristalitos, evidenciado pelo alargamento dos picos nos difratogramas de DRX. No sistema NbC-FeNi-C, o tamanho do cristalito de NbC diminuiu após 10 horas de moagem, atingindo 31,80 nm. Já no sistema com 5% de TaC, o tamanho de cristalito continuou a diminuir, alcançando 29,78 nm após 15 horas, o menor valor registrado. As micrografias de MEV-FEG-EDS confirmaram que a adição de TaC promoveu um refinamento mais efetivo e uma distribuição mais homogênea das partículas.

Esse efeito é atribuído à dinâmica da MAE com TaC, na qual facilitou a quebra de partículas maiores e a dispersão das menores em uma matriz mais uniforme.

Palavras-chave: Moagem de alta energia (MAE), cerments, NbC, TaC, microestrutura.

TITLE: Impact of Tantalum Carbide Addition and High-Energy Milling on the Microstructural and Mechanical Properties of NbC-FeNi-C Composites.

Abstract

Niobium carbide (NbC) is a promising alternative to WC-Co for cutting tools. NbC is advantageous due to its low cost, high availability, and properties such as high hardness, low reactivity, and excellent thermal conductivity. This research investigated the effect of high-energy milling (HEM) and the addition of tantalum carbide (TaC) on the structural and microstructural properties of milled NbC-FeNi-C and NbC-FeNi-TaC-C powders. Milling was performed for 2.5 h, 5 h, 7.5 h, 10 h, 12.5 h, and 15 h at 400 RPM, under wet conditions. The precursor and milled powders were analyzed by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy (FEG-SEM-EDS), evaluating particle morphology and dispersion homogeneity. The results showed that HEM refined the powders, reducing crystallite size, as evidenced by the broadening of peaks in the XRD patterns. In the NbC-FeNi-C system, the NbC crystallite size decreased after 10 hours of milling, reaching 31.80 nm. In the system with 5% TaC, the crystallite size continued to decrease, reaching 29.78 nm after 15 hours, the lowest recorded value. FEG-SEM-EDS micrographs confirmed that the addition of TaC promoted more effective refinement and a more homogeneous particle distribution. This effect is attributed to the HEM dynamics with TaC, which facilitated the fragmentation of larger particles and the dispersion of smaller ones into a more uniform matrix.

Keywords: High-energy milling (HEM), cerments, NbC, TaC, microstructure.

Introdução

Os chamados carbetos cimentados pertencem ao grupo dos compósitos de matriz metálica (MMCs). Eles são formados por uma fase cerâmica, composta por partículas extremamente duras de carbetos, e uma fase metálica, que adiciona ductilidade e tenacidade ao material [1]. O exemplo mais comum é o carbetos de tungstênio (WC), que atua como fase dura, incorporado em uma matriz metálica de ligante, geralmente à base de cobalto (Co). Além do WC, outros carbetos, como TiC ou NbC, também podem ser incorporados em matrizes de ligantes metálicos (Co, Ni ou Fe), originando os cermets [1].

Atualmente, nas indústrias, os materiais mais empregados em ferramentas de corte são os metais duros à base de WC-Co. Esses compósitos são amplamente utilizados em operações de usinagem, como torneamento, fresamento e perfuração [2]; devido à presença de fases duras que lhes conferem propriedades superiores, tais como elevada dureza, resistência à flexão e à compressão, alta tenacidade e excelente resistência ao desgaste. Tais características são majoritariamente atribuídas à sinergia entre o carbetos de tungstênio (WC) e a matriz metálica de cobalto (Co) [2].

No entanto, o alto custo e os riscos à saúde que o WC-Co traz impulsionaram a busca por materiais alternativos com propriedades semelhantes. Nesse contexto, destacam-se as ferramentas de corte produzidas a partir de cermets à base de NbC [3], as quais se mostram adequadas para operações de usinagem devido à sua alta dureza em altas temperaturas, baixa reatividade com aços e outros metais e, especialmente, alta condutividade térmica [3]. Devido à sua menor solubilidade em ferro, níquel e cobalto, o NbC configura-se como uma solução promissora ao manter a estabilidade em temperaturas elevadas e fornecer uma vida útil prolongada [4]. Além disso, as reservas globais de nióbio superam as de tungstênio, garantindo a disponibilidade do material para aplicações industriais em larga escala [4].

Para ser usado como fase ligante, estão sendo investigados como possíveis substitutos do Co, o ferro (Fe) e o níquel (Ni). Entretanto, o uso de Fe e Ni pode provocar um crescimento significativo dos grãos de NbC durante a sinterização

em fase líquida [2, 5]. Para mitigar esse efeito, é comum a adição de carbetos como VC, Cr_3C_2 , NbC, TaC e Mo_2C [1], que auxiliam na formação de uma barreira de contorno de grão, reduzindo a mobilidade e controlando o seu crescimento [6-8].

Um dos métodos de produção mais empregados na indústria para modificação desses sistemas a base de materiais particulados é por via moagem de alta energia (MAE), que promove a sinterabilidade de sistemas à base de WC, NbC e TaC por meio dos mecanismos de soldagem a frio, fratura e ressoldagem das partículas do pó [9-13]. Além disso, o MAE é uma rota simples e eficiente para produzir pós nanoparticulados e introduzir partículas de reforço e/ou ligantes em ligas e compósitos [9]. Em sistemas frágil-dúctil, as partículas frágeis (por exemplo Al_2O_3 , WC, NbC, TaC) são refinadas em partículas menores e possuem a tendência de se aglomerar a depender do tamanho da partícula inicial, enquanto o componente dúctil (por exemplo (Cu, Ni, Fe, Co) é transformado em placas que se deformam e ficam distribuídas próximas as partículas aglomeradas [14].

Assim, neste estudo, avaliou-se o efeito da adição do TaC e do processo de moagem de alta energia (MAE) na microestrutura e nas propriedades dos particulados NbC-FeNi-C e NbC-FeNi-TaC-C, para a obtenção de materiais substitutos alternativos ao WC-Co.

Metodologia

As características dos pós comerciais utilizados na preparação da moagem foram: NbC (CBMM, Brasil; C: 11,35% em peso, O: 0,29% em peso; tamanho médio de partícula: 5 μm); Fe (Riedel de Haen, D30926, Alemanha; tamanho médio de partícula: 97 μm); Ni (Merck, D50: 10 μm , Alamanho, 99.98 % de pureza); TaC (França). A distribuição do tamanho de partícula dos pós foi determinada através do analisador de tamanho de partícula a laser LS 13320 (Beckman Coulter). A morfologia dos pós iniciais foi feita por microscópio

eletrônico de varredura (SEM, Hitachi, TM3000; FESEM, Carl Zeiss, modelo Supra 35-VP) e a análise das fases foi conduzida usando difração de raios X (Bruker D2 Phaser) com radiação Cu K α (30 kV, 10 mA). Os resultados são apresentados na Figura 1.

Para a preparação da moagem, os pós foram previamente pesados e introduzidos no cadinho do moinho, juntamente com Álcool Etílico Absoluto PA (99,8%). A moagem foi realizada por períodos de 2,5 h, 5 h, 7,5 h, 10 h, 12,5 h e 15 h, utilizando esferas de WC-Co com $\varnothing$ 10mm, na proporção de 1 g de pó para 10 g de esferas, sob rotação constante de 400 RPM. Após o término da moagem, a suspensão obtida foi deixada ao ar livre até a completa evaporação do álcool. Em seguida, os pós secos foram submetidos à maceração manual para desaglomeração e homogeneização final.

Os pós precursores e os moídos foram submetidos à caracterização via Difração de Raio-X (DRX) a fim de conhecer as fases obtidas, utilizando um difratômetro SHIMADZU, modelo 83 XRD-7000 com radiação de CuK α ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), corrente de 30 mA e voltagem de 40kV. E, também, foram analisadas as posições dos picos do DRX, a largura a meia altura, e o tamanho do cristalito via equação 1 de scherrer :

$$D = K \cdot \lambda / \beta \cdot \cos \theta \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo, D o tamanho médio de cristalito, K a constante de forma, λ corresponde ao comprimento de onda da radiação de raios X, β é a largura à meia altura (FWHM) do pico corrigida pelo instrumental, e θ é o ângulo de Bragg em radianos. Para a análise da morfologia e dispersão das partículas, foi usada a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), utilizando o equipamento MEV-FEG da marca ZEISS e modelo Auriga 40, assistido por um detector Bruker E-Flash, nas ampliações 1000x, 3000x, 6000x, 10000x. Foi realizada, também, a microanálise química por energia dispersiva (EDS) acoplada a este mesmo microscópio, com o intuito de identificar os elementos presentes e verificar a homogeneidade das partículas. Todos os experimentos foram efetuados no Departamento de Física Teórica e Experimental (DFTE) e no Laboratório

Institucional de Microscopia Eletrônica e Caracterização de Materiais (LIME) para análise de suas propriedades estruturais e microestruturais.

Resultados e Discussões

As figuras 2, 3, 4 e 5 mostram os padrões de DRX para os pós moídos por tempos diferentes sem a adição do TaC (figuras 2 e 4) e com adição de TaC (figuras 3 e 5). Os picos foram identificados como NbC (ICSD n° 44496 Fm-3m, 225), Ni (ICSD n° 43397 Fm-3m, 225), Fe (JCPDS n° 6-0696 Im-3m, 229) e TaC (ICSD n° 038239 Fm-3m, 225). Os picos de NbC, Ni, Fe e TaC foram indexados segundo as cartas acima para as posições para NbC: 34,8°; 40,4°; 58,4°; 69,8° e 73,4° e os planos HKL co-seguintes (1 1 1), (0 2 0), (2 2 0), (3 1 1) e (2 2 2); para Ni: 44,60°; 52° e 76,70° com os planos HKL co-seguintes (1 1 1), (0 2 0) e (2 2 0); para Fe: 44,6° e 65,06° para os planos HKL co-seguintes (1 1 0) e (2 0 0); e para o TaC: 34,88°; 40,5°; 58,6°; 70,04° e 73,66° para os planos HKL co-seguintes (1 1 1), (0 2 0), (3 1 1) e (2 2 2).

Na figura 4 e na figura 5 é apresentado o pico mais intenso da fase do NbC dos difratogramas das figuras 2 e 3, exibindo sua posição do pico (2θ), largura a meia altura (FWHM) e o tamanho do cristalito (D). Ao se analisar esses resultados, observa-se que, após 10 h de moagem, ocorreu um aumento significativo do FWHM, a qual está diretamente relacionado com a redução do tamanho medido do cristalito; em conformidade ao descrito pela equação de scherrer, que estabelece a correlação inversa entre a largura do pico de difração e tamanho do cristalito.

Já, na Figura 5, em 12,5 h de moagem, o tamanho de cristalito mantém-se próximo ao obtido em 10 h, porém, ao atingir 15 h de moagem, observa-se a menor dimensão de cristalito registrada, correspondente a 29,78 nm.

É evidente o alargamento de pico e seu deslocamento, inicialmente, para esquerda, na fig 4, e, sequencialmente, para a direita até se manter fixo. Esse

fenômeno pode ser explicado pela deformação da rede cristalina provocada pelo elevado encruamento gerado durante o processo de soldagem a frio, onde ocorre um aumento do parâmetro de rede [15]. Sequencialmente, o pico realiza um deslocamento para a direita provocado pela diminuição do parâmetro de rede devido às severas colisões e o aumento da densidade de discordância [15].

O tamanho de cristalito medido do pico de NbC, possui um comportamento de aumento e de diminuição do cristalito que é observado nas diferentes medidas mostradas, na fig 4, as quais se relacionando diretamente com os fenômenos intrínsecos do processo de deformação, soldagem a frio, resoldagem e fratura provenientes do MAE [9, 12, 15].

Entretanto, no pico indexado de NbC e TaC da figura 5 é possível observar um fenômeno diferente referente à um sistema frágil-frágil com adição do reforço de matriz (TaC). No sistema, as partículas duras maiores se fragmentam em partículas menores pelo impacto mecânico, assim refinando a microestrutura. Esse fenômeno é evidenciado pelo deslocamento horizontal das curvas de difração para a direita e, em sequência, retornando para a esquerda, e pela diminuição do tamanho de cristalito médio medido pela equação de Scherrer em ordem decrescente. Tal comportamento contrasta com o observado na Figura 4, que é evidenciado pelo sistema frágil-dúctil, onde há o aumento do tamanho de cristalito e, em seguida, tem-se sua diminuição seguido pelo deslocamento que se inicia no sentido oposto, partindo da esquerda, tal comportamento é semelhante aos sistemas Cu-WC [12] e WC-Al₂O₃ [14].

Nas figuras 6 (a), (b), (c), (g), (h) e (i) é observado o sistema moído do tipo frágil-dúctil, quando relacionado ao NbC, Fe e Ni. No processo da MAE, as partículas colidem umas com as outras fragmentando-se em partículas menores [9]. Durante esse processo, são formadas placas através dessas colisões das partículas duras de NbC com corpos moedores e com as paredes do cadinho ocasionando a deformação a frio das partículas de Fe e Ni [12, 14, 15]. E, ainda, é possível observar em algumas regiões de junção por soldagem a frio de FeNi, evidenciado na seta da figura 6 (b).

A morfologia do NbC são de partículas facetadas, como evidenciado na figura 6 (a). Com as sucessivas colisões e deformações elas se fragmentam em partículas menores, e essas partículas vão perdendo a identidade morfológica e começam a se aglomerar em morfologia esféricas irregulares [16]. Resultando em uma agregação de partículas, fator que dificulta o material de atingir uma difusão homogênea e pode limitar a homogeneização completa dele, especialmente devido à forte tendência de aglomeração durante a MAE [16].

Comparando as micrografias da fig 6 de ambas as composições é possível observar um maior refino e homogeneidade da microestrutura quando adicionado 5% de TaC como reforço da matriz. Isso ocorre devido ao TaC possuir maior dureza, maior energia de moagem e maior tendência a produzir tamanho de partícula menores em comparação ao NbC que possui menor dureza [16]. Além disso, quando os dois elementos são moídos juntos, o TaC atua como agente de refino, reduzindo o tamanho das partículas de NbC devido ao aumento na energia de deformação, auxiliando na quebra de partículas maiores e na dispersão de partículas menores em uma matriz de partículas maiores [16].

Essa combinação de NbC e TaC é viável devido a elevada similaridade química entre os dois elementos, que torna sua separação cara [16]. Essa semelhança pode ser notada nos picos semelhantes dos dois elementos na figura 1 e nas cartas indexadas da figura 3. Ademais, o carbetos de nióbio acaba tendo efeito semelhante ao carbetos de tântalo na maioria dos casos [17]. Deve-se levar em conta também, o efeito não estequiométrico na distribuição de carbono na estrutura cristalina desses carbetos, pois ao decorrer do tempo a moagem tem uma tendência de transformar as partículas em tamanho nanométrico (20-70 nm) e tem-se uma redução na heterogeneidade de composição, resultando numa maior homogeneidade composicional do material [16].

Nas imagens apresentadas, na Figura 7, é possível confirmar as discussões realizadas anteriormente sobre o processo de moagem. Observou-se que, na composição contendo TaC, ocorreu inicialmente uma aglomeração significativa das partículas, para posteriormente refinar o material. Esse comportamento

indica que a presença do TaC favoreceu a interação entre as partículas, resultando em um refinamento mais efetivo da moagem. Em contraste, no sistema sem o reforço da matriz, a aglomeração ocorreu de maneira mais tardia, podendo ser comparado ao analisar a figura 7 (a) e figura 7 (d), e ao atingir seu refinamento máximo na figura 7 (g), seguido por uma nova tendência de aglomeração. Evidenciando, assim, o papel do TaC na evolução microestrutural e na estabilidade ao longo do processo.

Conclusão

Diante dos resultados obtidos e discutidos, conclui-se que o processamento de moagem de alta energia para o pó NbC-FeNi-C com adição de 5%TaC melhorou a homogeneização e seu tamanho de partícula, resultando em uma microestrutura refinada com o menor tamanho de cristalito atingido na análise.

O refino do pó foi evidenciado no aumento do FWHM, apresentado nos difratogramas, onde, ao decorrer do aumento gradativo do valor da largura a meia altura, o tamanho do cristalito atingiu o seu melhor valor de 29,78 nm em 15h de moagem. A presença desse segundo carbeto, de maior densidade e maior energia de deformação, modificou a dinâmica de moagem, permitindo que as partículas duras fragmentan-se em partículas menores de maneira mais efetiva, promovendo não apenas um maior refino da microestrutura, mas também maior homogeneidade da distribuição das fases. Esse efeito foi confirmado tanto pelo deslocamento diferenciado dos picos de NbC/TaC na Figura 5, quanto pelas micrografias da Figura 6, que mostraram uma aglomeração inicial seguida de um refino mais gradativo em comparação ao sistema sem TaC.

Portanto, torna-se evidente que a adição do TaC como agente de reforço da matriz, intensifica a fragmentação das partículas de NbC e favorece a dispersão em uma matriz mais homogênea e com partículas menores.

Referências

- [1] D. Hübler, T. Gradt, Effect of different binders and secondary carbides on NbC cermets, *Forsch. Ingenieurwes.* 86 (2) (2022) 197–211.
- [2] Huang, S. G., Liu, C., Liu, B. L., Anwer, Z., & Vleugels, J. (2025). NbC-Ni based cermets: Phase diagrams, microstructure and mechanical properties. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 128, 107020. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2024.107020>.
- [3] PENG, Yingbiao; MIAO, Hezhuo; PENG, Zhijian. Development of TiCN-based cermets: Mechanical properties and wear mechanism. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 39, p. 78–89, jul. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2012.07.001>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- [4] D. Hübler, T. Gradt; Efeito de diferentes ligantes e carbonetos secundários em cermets NbC. *Forsch. Engenheiros.*, 86 (2022), pp. 197 - 211, [10.1007/s10010-022-00583-1](https://doi.org/10.1007/s10010-022-00583-1)
- [5] De Paula, C. H. R., Anwer, Z., Huang, S., Vleugels, J., Mashhadikarimi, M., & do Nascimento, R. M. (2025). Effect of carbon content on the microstructure and properties of NbC-Fe cermets. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 128, 107026. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2024.107026>.
- [6] PENG, Yingbiao; MIAO, Hezhuo; PENG, Zhijian. Development of TiCN-based cermets: Mechanical properties and wear mechanism. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 39, p. 78–89, jul. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2012.07.001>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- [7] Koroghli, M., Alimirzaloo, V., Mohammadzadeh, H. et al. Comportamento de sinterização de WC-Co com aditivos de TiC, VC e (Ta, Nb)C: Características microestruturais e mecânicas. *J. of Materi Eng and Perform* 31, 814–824 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06209-x>

- [8] HUANG, Kuo-Tsung; CHANG, Shih-Hsien; HUANG, Yi-Wen; LIANG, Cheng; LI, Chien-Lun. Efeito da adição de pó de TaC na microestrutura e propriedades mecânicas da liga Ti–Nb–Mn via processo de sinterização a vácuo. *Materials Transactions*, v. 64, n. 12, p. 2714–2721, 2023. DOI:10.2320/matertrans.MT-M2023108.
- [9] Suryanarayana, C. (2001). Mechanical alloying and milling. *Progress in materials science*, 46(1-2), 1-184. [https://doi.org/10.1016/S0079-6425\(99\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6425(99)00010-9).
- [10] SHA, J. J.; HAO, X. N.; LI, J.; WANG, Z. Fabrication and microstructure of CNTs activated sintered W–Nb alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 587, p. 290–295, 25 fev. 2014. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.10.164>
- [11] MALEWAR, R.; KUMAR, K. S.; MURTY, B. S.; SARMA, B.; PABI, S. K. On sinterability of nanostructured W produced by high-energy ball milling. *Journal of Materials Research*, v. 22, n. 5, p. 1200–1206, 01 maio 2007. DOI: <https://doi.org/10.1557/jmr.2007.0166>
- [12] CÂMARA, N. T.; RAIMUNDO, R. A.; LOURENÇO, C. S.; MORAIS, L. M. F.; SILVA, D. S.; GOMES, R. M.; MORALES, M. A.; MACEDO, D. A.; GOMES, U. U.; COSTA, F. A. Impact of the SiC addition on the morphological, structural and mechanical properties of Cu–SiC composite powders prepared by high energy milling. *Advanced Powder Technology*, v. 32, n. 8, p. 2950–2961, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appt.2021.06.006>
- [13] KURLOV, A. S.; GUSEV, A. I. High-energy milling of nonstoichiometric carbides: Effect of nonstoichiometry on particle size of nanopowders. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 582, p. 108–118, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.08.008>
- [14] SILVA, M. C. L.; LEITE, M. M. B.; RAIMUNDO, R. A.; HENRIQUES, G. F.; VALCÁCER, S. M.; MASHHADIKARIMI, M.; MORALES, M. A.; GOMES, U. U. Consolidation and mechanical properties of WC–Al₂O₃ composite prepared via high energy ball milling and spark plasma sintering. *Ceramics International*, v. 48, p. XX–XX, mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.03.191>

[15] RAIMUNDO, R. A.; COSTA, F. A.; MORALES, M. A.; SILVA, A. G. P.; GOMES, U. U. Effect of the high energy milling on the microstructure of Cu-20 % WC composite powders prepared with recycled WC. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 90, p. 105223, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.03.191>

[16] KURLOV, A. S.; GUSEV, A. I. Effect of nonstoichiometry of NbC_y and TaC_y powders on their high-energy milling. *Applied Catalysis A: General*, v. 487, p. 1–9, 11 abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2014.05.018>

[17] KURLOV, A. S.; GUSEV, A. I. Cermets based on FeAl–NbC from composite powders prepared by high-energy milling. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 615, p. S287–S290, 15 nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2014.09.030>

Anexos

Figura 1: Micrografia e Difrátogramas dos pós iniciais.

Tabela 1: Materiais selecionados e volumes correspondentes utilizados durante o experimento.

Figura 2: Difrátograma do pó NbC-FeNi-C moído por 2.5h, 5h, 7.5h, 10h, 12.5h e 15h.

Figura 3: Difratoograma do pó NbC-FeNi-C 5%TaC moído por 2.5h, 5h, 7.5h, 10h, 12.5h e 15h.

Figura 4: Resultados dos cálculos obtidos através da equação de Scherrer do pó NbC-FeNi-C moído por 2.5h, 5h, 7.5h, 10h, 12.5h e 15h.

Figura 5: Resultados dos cálculos obtidos através da equação de Scherrer do pó NbC-FeNi-C 5%TaC moído por 2.5h, 5h, 7.5h, 10h, 12.5h e 15h.

Figura 6: Micrografia eletrônica (MEV-FEG) do pó NbC-FeNi-C após moagem por (a) 2.5h, (b) 5h, (c) 7.5h, (g) 10h, (h) 12.5h e (i) 15h e pó NbC-FeNi-C-5%TaC após moagem pelos mesmos intervalos: (d) 2.5h, (e) 5h, (f) 7.5h, (j) 10h, (k) 12.5h e (l) 15h.

Figura 7: MEV-FEG-EDS do pó NbC-FeNi-C após moagem por (a) 2.5h, (b) 5h, (c) 7.5h, (g) 10h, (h) 12.5h e (i) 15h e pó NbC-FeNi-C-5%TaC após moagem pelos mesmos intervalos: (d) 2.5h, (e) 5h, (f) 7.5h, (j) 10h, (k) 12.5h e (l) 15h.

CÓDIGO: ET0835

AUTOR: YASKARA MONTEFUSCO MOTA

ORIENTADOR: RUBENS MARIBONDO DO NASCIMENTO

TÍTULO: O estudo da impressão 3D como ferramenta para produção de filtros sustentáveis a base de resíduo de diatomita/terra diatomáceas

Resumo

Este trabalho investigou a aplicação da impressão 3D pelo método Direct Ink Writing (DIW) para a produção de filtros sustentáveis a partir de resíduos de diatomita. Foi desenvolvida uma tinta composta por diatomita, álcool polivinílico (PVA) e aditivos, cuja imprimibilidade foi avaliada por meio de testes de extrusão e secagem. Os corpos de prova foram impressos e submetidos à calcinação em temperaturas de 600 °C, a 1000 °C, sendo caracterizados por difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Os resultados indicaram que a estrutura nanoporosa da diatomita foi preservada após a impressão e os tratamentos térmicos aplicados, mantendo o potencial filtrante do material. A calcinação a 1000 °C resultou na completa eliminação do PVA, aumento da cristalinidade e melhoria da estabilidade mecânica das peças.

Palavras-chave: diatomita; impressão 3D; Direct Ink Writing; filtros cerâmicos; PVA.

TITLE: The study of 3D printing as a tool for the production of sustainable filters based on diatomite residue/diatomaceous earth

Abstract

This study investigated the application of 3D printing using the Direct Ink Writing (DIW) method for the production of sustainable filters from diatomite waste. An ink composed of diatomite, polyvinyl alcohol (PVA), and additives was developed, and its printability was evaluated through extrusion and drying tests. The specimens were printed and calcined at temperatures ranging from 600°C to 1000°C, and characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron

microscopy (SEM), and energy-dispersive spectroscopy (EDS). The results indicated that the nanoporous structure of the diatomite was preserved after printing and heat treatments, maintaining the material's filtration potential. Calcination at 1000°C resulted in the complete elimination of PVA, increased crystallinity, and improved mechanical stability.

Keywords: diatomite; 3D printing; Direct Ink Writing; ceramic filters; PVA.

Introdução

A diatomita é um material biogênico constituído a partir do processo de decomposição das carapaças das algas diatomáceas, encontradas abundantemente em orlas marinhas, como em Rio do Fogo/RN [1]. Na indústria, sua produção é composta pelas etapas: Lavra, beneficiamento, e calcinação, na qual ocorre a adição de um fundente que auxilia na aglomeração das partículas para retirada de impurezas [1].

A diatomita é composta por altos teores de dióxido de silício (SiO_2), apresentando propriedades físicas interessantes como a baixa densidade aparente ($0,12 \text{ g/cm}^3$ a $0,5 \text{ g/cm}^3$), e alta porosidade (cerca de 83%) [1], permitindo seu emprego potencial na produção de filtros [2]. A filtração consiste no processo em que uma solução composta por líquido e partículas são separadas através de um meio filtrante, constituído de material poroso e sob efeito de diferença de pressão [3]. Este processo é crucial em diversas indústrias, como no tratamento de água potável e efluentes.

Para a utilização na indústria de filtração, a diatomita deve apresentar uma granulometria entre 50 e 100 μm para construção dos filtros. Além de uma cor entre clara, creme ou bege, haja vista que a coloração desse material indica a quantidade de impurezas, interferindo na velocidade do processo de filtração nas indústrias.

Nesse ensejo, existem diferentes métodos para a fabricação de filtros à base de diatomita. Alguns exemplos são o dip coating [4], técnica que reveste uma peça

plana em uma solução líquida, e o tape casting, que fabrica fitas cerâmicas planas com espessura de até 1mm [5]. No entanto, esses métodos apresentam limitações para a produção de filtros tridimensionais porosos, sendo mais adequados para geometrias planas e uniformes, o que os torna menos interessantes para aplicações que exigem estruturas mais complexas e volumétricas, como é o caso de alguns filtros de diatomita.

Desse modo, a impressão 3D é uma técnica que possibilita a impressão de objetos ou peças através de dados digitais [6]. Atualmente, existem diversas técnicas desse método, tais como: filamento, tinta e estereolitografia. Para os filtros de diatomita, foi escolhido o método de impressão por Direct ink writing (DIW) que funciona através da compressão de um bico de diâmetro variável, acoplado a uma seringa, com pressão definida e uma tinta com viscosidade variável que pode conter cerâmicas, metais ou compósitos, depositando o material camada a camada conforme um trajeto pré-definido por um modelo digital [6].

Diferente de impressoras baseadas em fusão, o DIW utiliza materiais que mantêm sua forma logo após a extrusão, graças à alta viscosidade ou a reações de gelificação, podendo depois passar por processos adicionais, como secagem ou sinterização, para adquirir resistência/estabilidade mecânica facilitando a fabricação de peças [6].

Para a composição da tinta, além do material base, é necessário a utilização de um polímero, como o hidrogel (pluronic f127), Álcool polivinílico (PVA) e o Polivinilpirrolidona (PVP) [8]. Neste contexto, o álcool polivinílico (PVA) é utilizado devido às suas propriedades reológicas ajustáveis, solubilidade em água destilada e boa estabilidade após a deposição [7] permitindo que a tinta mantenha sua forma após a impressão, mas também, é comumente empregado como material de suporte temporário, facilmente removível após a impressão [8].

Portanto, esse trabalho teve como objetivo investigar o uso da técnica de impressão 3D por DIW para a produção de peças filtrantes a partir de diatomita, a qual é um resíduo proveniente do beneficiamento mineral. Nesse viés,

primeiramente, foi desenvolvida a formulação da tinta a base do resíduo de diatomita, a fim de garantir a funcionalidade da peça impressa final; e, dessa forma, correlacionando as características do material inicial, através da sua morfologia, fases cristalinas e distribuição de tamanho de partículas, ao comportamento apresentado durante o processamento, a verde e após calcinação.

Metodologia

2.1 Materiais

As características dos pós comerciais utilizados na preparação da tinta são: Diatomita Branca (Mirasa - Mineração; Brasil; Densidade: 0,129 g/cm³ D10: 0,76 µm, D50: 2,65µm, D90:14,19 µm.) e Álcool Polivinílico (PVA, Cloroquímica; Brasil; C₂H₄O)_n; Viscosidade: 45-55 cP, Peso Molecular: 72.000). A distribuição do tamanho de partícula da diatomita foi determinada pelo analisador de tamanho de partícula a laser Cilas 1090.

2.2 Metodologia

A fabricação da tinta consistiu em duas etapas: a confecção de uma resina composta por polivinil álcool (PVA) e água destilada, e a mistura do material base com a resina, a figura 1 apresenta o resumo gráfico deste trabalho. Assim, a resina é feita com uma na proporção 1:7 de PVA em água destilada, e é aquecida a uma temperatura de 80°C em agitação magnética. Sequencialmente, tem-se o repouso da resina para a redução de bolhas de ar em temperatura ambiente por aproximadamente 24 horas. A formulação da tinta é composta por 30% em peso de resina à base de PVA, 70% em peso de Álcool P.A. e do resíduo de diatomita. A composição final da tinta para a impressão teve proporções do peso total de 7,7 g, expostas na tabela 1.

A impressão da tinta foi realizada utilizando o modelo de impressora 3D Genesis™ (3D Biotechnology solutions, São Paulo, Brasil) com uma área de impressão de 85x125 mm. Para a impressão foi selecionada uma agulha de 0.8 milímetros de diâmetro, e parâmetros de velocidade de preenchimento 1,67 mm/s e força do êmbolo 5,2 N, usando um desenho de medidas 12mm, e esperando aproximadamente seis minutos para a secagem e realização de uma nova camada de impressão. O modelo digital foi feito no software Fusion 360, sendo um cilindro com espessura de 0.8 mm, figura 2. Para a impressão, foi utilizado o software Pronterface e Slic3R/Cura, e, na figura 3, apresenta-se o desenho do preenchimento da impressão, demonstrando a movimentação do bico. Para a análise foram impressos dez corpos de provas: sete com uma camada de tinta e três com duas camadas. Após a impressão, os corpos de prova secaram a temperatura ambiente, por aproximadamente, seis minutos.

Após a impressão, as amostras foram calcinadas a 600, 700, 800, 900 e 1000 °C em forno mufla (Quimis, modelo Q318S-21), utilizando uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, um patamar isotérmico de 3 h em cada temperatura e resfriamento controlado.

Para determinar a estrutura e a composição de fases, medidas de difração de raios X (DRX) foram realizadas usando um difratômetro Rigaku Miniflex II (Tóquio, Japão), com uma fonte de radiação de Cobre do tipo CuK α com $\lambda = 1,5481 \text{ \AA}$, numa faixa de varredura de 10–80° (2 θ) a uma velocidade de 3°/min e um passo de 0,02°.

As micrografias para análise microestrutural foram obtidas através de microscópio eletrônico de varredura (MEV) por emissão de campo (FEG) — MEV-FEG, Carl Zeiss modelo Auriga 40 (Jena, Alemanha) — acoplado com um espectrômetro de energia dispersiva (EDS). Para revelação da fase polimérica nas amostras, elas foram metalizadas por Sputtering através da deposição de camadas de Ouro (Au).

Resultados e Discussões

3.1 Análise do pó de partida

A difração de Raio -X do pó de partida da diatomita é apresentado na figura 4, os picos observados compõem o grupo espacial P 3221 (154), com estrutura cristalina trigonal e parâmetros de rede $a=b=4.921 \text{ \AA}$ e $c=5.400 \text{ \AA}$, (Quartzo, COD#16331, SiO_2). O pico de difração dessa carta estão em $21,8^\circ$ relacionado ao plano indexado HKL (101), bem como, o grupo espacial P 41212 (92) com estrutura cristalina tetragonal e parâmetros de rede $a=b=4.998 \text{ \AA}$ e $c=7,024 \text{ \AA}$, (Cristobalita, COD#034933, SiO_2), com pico de $26,64^\circ$, com plano indexado HKL (011) [11]. Além disso, é notória, nos picos de difração entre 15° e 30° , a presença da fase amorfa característica da diatomita ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) [13].

A micrografia do pó de partida, exposta na figura 5, revela a morfologia característica da diatomita, composta por frústulas de sílica amorfa com alta porosidade e formas irregulares [2]. A presença dessas estruturas bem definidas, os nanoporos, de tamanho médio de 2 - 5 nm [14], destacadas em amarelo, indicam que o material preserva sua origem, resultando em elevada área superficial específica — uma propriedade essencial para aplicações em filtração [2]. Essa morfologia inicial impactará diretamente na densificação nas etapas subsequentes de calcinação e sinterização, uma vez que a presença de elevada porosidade tende a dificultar a compactação mas favorece a difusão superficial [9].

3.2 Impressão por DIW das amostras

Para análise do comportamento da tinta, foram impressos dez corpos de provas: sete com uma camada de tinta e três com duas camadas, a fim de compreender a resistência mecânica e o comportamento da microestrutura do material. Para sua identificação neste trabalho, as amostras estão nomeadas como IMxxxx, representando sua respectiva temperatura de calcinação.

Primordialmente, em uma impressão teste, conforme pode ser observado na figura 6 (geometria teste) foram impressos corpos de prova com formato de “M”,

com a finalidade de compreender a imprimibilidade e visco-plasticidade inicial da tinta, no intuito de estudar a formulação de geometrias complexas [10].

Esse teste inicial é fundamental para ajustar a consistência da tinta para passagem pelo bico de impressão, análise da tensão de escoamento e da secagem dado que cada material têm comportamento diferente. A diatomita, por exemplo, tende a sofrer retração imediata ao entrar em contato com a água presente na formulação e, após, algum tempo, promove a expulsão gradual dessa água devido à sua elevada capacidade de absorção e posterior liberação [12].

Desse modo, foi visualizado durante o processo de secagem que a tinta manteve o contorno bem definido no formato de 'M', apesar de espalhar-se de maneira irregular. Esse comportamento evidencia maior fluidez e, portanto, uma viscosidade reduzida, como pode ser observado na figura 6. Esse comportamento é esperado para tinta e está de acordo com o trabalho de Rau et al., (2023), que define que o padrão de impressão de uma boa tinta deve seguir os seguintes padrões: extrusão em uma linha consistente e homogênea, se espalhar numa quantidade mínima após sair do bico de diâmetro selecionável, apresentar uma resistência suficiente para suportar camadas subsequentes sem colapso ou deformação excessiva [10].

Ademais, as tintas produzidas para impressão DIW, podem ser classificadas conforme: a) tensão de escoamento: encontram-se em estado sólido e quando submetidas a pressões controladas passam para uma fase líquida, e após a retirada da carga, permanecem em um estado sólido sem perder a forma definida pelo modelo CAD. b) Solidificação dependente do tempo (STD): São tintas que necessitam de um fator externo como congelamento ou radiação UV, secagem a temperatura ambiente entre outros, para completa solidificação. c) Tintas que apresentam os dois comportamentos [10].

A partir dessa definição, com os resultados obtidos da impressão teste, pode-se classificar a tinta à base de diatomita como STD, pois para solidificação completa da amostra foi fundamental deixá-la secar em temperatura ambiente por

aproximadamente seis minutos para recebimento de uma nova camada de tinta. Na figura 7, está exposta a geometria definida do modelo CAD [12].

Outro fator de destaque é a escolha do agente de preenchimento, o PVA, uma vez que promoveu a homogeneização da formulação e a sua característica de tixotropia, uma propriedade de ter decaimento temporário da viscosidade quando aplicado a esforços mecânicos e se recuperar após a retirada desse esforço, sendo um comportamento fundamental para o melhor manuseio da tinta no processo de impressão [12].

Figura 7 - Corpo de prova após impressão e secagem

Fonte: Autoria própria, 2025

Na figura 6, apresenta-se um corpo de prova IM900 com duas camadas de impressão após secagem, com medidas geométricas de 11,29 mm, apresentando um $\Delta S = 0,71$ mm em comparação ao modelo desenhado. Este fenômeno ocorreu no momento da secagem, em que o álcool utilizado na fabricação da tinta, evapora, e modifica o tamanho. As medidas após a calcinação não foram obtidas, pois a sua geometria não permaneceu intacta após a calcinação, onde houve perda de material por falta de estabilidade mecânica, com exceção da amostra IM1000*, que apresentou comprimento de 13,20 mm, com $\Delta S = 1,20$ mm em comparação ao desenho inicial.

A presença de duas camadas de impressão conferiu à amostra maior estabilidade mecânica, sendo segundo Rau et al., um parâmetro fundamental para checagem da qualidade da imprimibilidade da tinta [10]. Com o objetivo de comparação das modificações em uma análise visual das impressões, expressa-se na tabela 2, as medidas geométricas dos corpos de prova.

Conforme evidenciado na Tabela 2, observa-se uma elevada taxa de variação entre as dimensões medidas e o modelo CAD, possivelmente decorrente do fenômeno de secagem ou da remoção da amostra da placa de teflon utilizada na impressão. Ademais, a plasticidade e a viscosidade da tinta influenciam diretamente o seu comportamento durante a deposição, especialmente no

“espalhamento”, entretanto, este trabalho não inclui análises reológicas detalhadas da tinta.

Nesse contexto, com o objetivo de identificar as mudanças microestruturais resultantes do processo de impressão e, posterior, calcinação da tinta, a difração de Raio X das amostras calcinadas nas temperaturas de 600°C, 800°C e 1000°C estão apresentadas nas figuras 8 e 9.

Para a IM600, os picos observados compõem o grupo espacial P 3121 (152), com estrutura cristalina trigonal e parâmetros de rede $a=b= 4.148 \text{ \AA}$ e $c= 5.4062 \text{ \AA}$, (Quartzo, ICSD 01-083-2465, SiO_2). O pico de difração dessa carta está em $26,7^\circ$ relacionado ao plano indexado HKL (101) e $36,6^\circ$ com plano indexado HKL (102), bem como, o grupo espacial P 41212 (92) com estrutura cristalina tetragonal e parâmetros de rede $a=b=4.9977 \text{ \AA}$ e $c = 6,9692 \text{ \AA}$, (Cristobalita, ICSD 01-077-1317, SiO_2), com picos de difração de $21,9^\circ$, $31,3^\circ$ e $36,0^\circ$, com os planos indexados HKL, respectivamente, (011), (021), (102) [11].

Além disso, é notória, nos picos de difração entre 20° e 30° , a diminuição da fase amorfa característica da diatomita ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) [13], em comparação com o pó de partida, pode-se perceber um afinamento dos picos demonstrando o aumento do tamanho médio de grãos e maior cristalinidade [14].

Paras as temperaturas de 800°C e 1000°C, na figura 9, os picos observados compõem o grupo espacial P 41212 (92), com estrutura cristalina tetragonal e parâmetros de rede $a=b= 4.980 \text{ \AA}$ e $c= 6.933 \text{ \AA}$, (β -Cristobalita, JCPDS 391425, SiO_2). Os picos de difração dessa carta estão em $22,04^\circ$, $28,4^\circ$, $31,5^\circ$ e $36,1^\circ$ relacionados, respectivamente aos planos HKL (101), (111), (102),(200). Contudo, é válido ressaltar que o pico apresentado em $44,6^\circ$ é do porta amostra do equipamento, não comprometendo a análise desse DRX, onde as varreduras essenciais para as fases da diatomita são $15\text{-}30^\circ$ [11].

Na temperatura de 800°C, observa-se a existência de cristobalita, eliminando, majoritariamente, os picos da estrutura cristalina de quartzo. O fenômeno de estreitamento do pico de difração no plano (101), demonstra o crescimento dos

cristalitos e uma menor tensão de rede e defeitos, uma vez que o aquecimento do material promove a reorganização cristalográfica [11].

A Figura 10 apresenta as micrografias obtidas em diferentes temperaturas de calcinação. A análise permite compreender a evolução da microestrutura com o aumento da temperatura, sendo observadas variações mais significativas nos tratamentos a 600 °C, 800 °C e 1000 °C.

Na figura 11 a), a micrografia da calcinação do corpo de prova IM600, calcinada em 600 °C, é possível observar a presença de PVA (marcado em amarelo). Neste sentido, nesta temperatura é importante ressaltar a não homogeneidade da distribuição do tamanho de partícula da diatomita, que fica evidenciada pelos diferentes tamanho de partículas observados nas micrografias. Entretanto, morfologicamente é preservada a microestrutura de navícula.

Na figura 11 b) - amostra IM800, observa-se o início do processo de homogeneização e agregação das partículas, porém, é evidente a permanência de partes orgânicas oriundas do PVA) e da diatomita (marcado de azul), que conserva sua morfologia de partícula típica. Ademais, na figura 11 c), a amostra IM1000, é possível evidenciar a fase inicial do processo de agregação de partículas e sua perda de identidade, (demarcada de rosa). Nesta temperatura, o PVA não está mais presente na composição do material ocorrendo o início do processo de formação da microestrutura de grãos e da densificação do material [13].

Nesse ensejo, nas micrografias obtidas por MEV, percebe-se que a microestrutura navicular, característica da diatomita, se conserva no processo de impressão. Sendo um fator interessante, haja vista que é esta estrutura que mantém a nano porosidade intrínseca do material. Dessa forma, pode-se aferir que as propriedades básicas filtrantes não são perdidas no processo de impressão e de calcinação durante os tratamentos térmicos aplicados, em razão das micrografias que revelaram que é possível o controle da porosidade da diatomita, mesmo sem utilizar um ativador de preenchimento total da microestrutura, haja vista que não houve danificação da estrutura dos nanoporos [14].

Na Figura 12 são apresentados os resultados de EDS. Nas Figuras 12 a) e 12 b), referentes às temperaturas de calcinação de 600 °C e 800 °C, observa-se a presença de resquícios de PVA, indicando que essas baixas temperaturas não são suficientes para sua remoção da fase polimérica. É válido mencionar que o EDS não é a técnica qualitativa mais adequada para medição da quantidade de carbono (C), contudo, neste caso, os resultados são relevantes. O PVA atua como agente estabilizante durante o processamento, sendo posteriormente eliminado através da sua degradação com a elevação da temperatura.

Por outro lado, na Figura 12(c), correspondente à temperatura de calcinação de 1000 °C, o mapa de EDS revela a presença exclusiva de Silício, alumínio e oxigênio, evidenciando a completa decomposição da fração orgânica do PVA no material e manutenção das fases constituintes da diatomita.

O processo de impressão pode produzir com alta precisão formas geométricas complexas e de tamanho variável, ao ter a liberdade e possibilidades em função das baixas limitações em termos de homogeneidade e controle microestrutural do material. Dessa forma, as análises de DRX, MEV e EDS, do material de partida e dos corpos de prova impressos e calcinados, confirmaram a ausência de efeitos negativos da impressão de filtros à base de diatomita por DIW.

Conclusão

A tinta à base de diatomita e PVA apresentou desempenho satisfatório para a impressão de filtros por DIW, visto que as características estruturais da diatomita foram preservadas após o processamento, e a calcinação à 1000 °C promoveu a completa eliminação do material filler. Além disso, inovou-se com a utilização de PVA como polímero base da resina que constituiu a tinta.

Para investigações futuras, serão realizados experimentos quanto o comportamento reológico da tinta, por meio de parâmetros de viscosidade, taxa de cisalhamento, tempo de secagem, e, também, ensaios de porosidade, assim

como, a adição de ligantes à tinta com o intuito de aprimorar a resistência mecânica dos corpos de prova.

Referências

- [1] SILVA, Paula Luciana Bezerra da; SOUSA, Lídia Dely Alves de; PINHEIRO, Viviane da Silva; HARIMA, Eiji; LEITE, José Yvan Pereira. Caracterização da diatomita de Rio do Fogo – RN – Brasil. Holos, Natal, ano 25, v. 3, p. 52, 2009.
- [2] FRANÇA, Silvia Cristina Alves; LUZ, Adão Benvindo da; ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS – CETEM. Diatomita. In: ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS. 2. ed. Brasília: CETEM, 2008
- [3] MUNSON, Bruce R.; YOUNG, Donald F.; OKIISHI, Theodore H. Fundamentos da mecânica dos fluidos. Editora Blucher, 2004.
- [4] SANTOS, Yane Honorato. Síntese e caracterização de nanocristais de ZnO suportados e não suportados em diatomita e aplicação fotocatalítica. 2017. 97 f. Dissertação (Pós-Graduação em Química) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2017.
- [5] SILVA, Joyce Cavalcante da. Preparo, caracterização e análise de nanocompósitos de Diatomita e Nanocelulose Cristalina para aplicação como biomembranas. 2020. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.
- [6] PANYDA, Komal & Shindalkar, Sarang & Kandasubramanian, Balasubramanian. (2023). Breakthrough to the pragmatic evolution of direct ink writing: progression, challenges, and future. Progress in Additive Manufacturing. 8. 1-26. 10.1007/s40964-023-00399-7.
- [7] Abdullah, Z. W., Dong, Y., Davies, I. J., & Barbhuiya, S. (2017). PVA, PVA Blends, and Their Nanocomposites for Biodegradable Packaging Application.

Polymer-Plastics Technology and Engineering, 56(12), 1307–1344.
<https://doi.org/10.1080/03602559.2016.1275684>.

[8] BORGES, Airton Pereira. Processamento e caracterização de hidrogéis de alginato-gelatina com adição de PVA, glicerol e óxido de grafeno visando aplicação em impressão 3D. 2023. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) - Bioengenharia, University of São Paulo, São Carlos, 2023. doi:10.11606/D.82.2023.tde-05072024-090143. Acesso em: 2025-08-27.

[9] HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, M. et al. Morphological and textural characterization of diatomite by SEM and BET analysis. Applied Sciences, 10(3), 2020.

[10] Daniel A. Rau, Michael J. Bortner, Christopher B. Williams, A rheology roadmap for evaluating the printability of material extrusion inks, Additive Manufacturing, Volume 75, 2023, 103745, ISSN 2214-8604, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2023.103745>.

[11] ZHENG, R.; REN, Z.; GAO, H.; ZHANG, A.; BIAN, Z. Effects of calcination on silica phase transition in diatomite. Journal of Alloys and Compounds, v. 757, p. 364-371, 2018. DOI: 10.1016/j.jallcom.2018.05.010

[12] Wei, P., Cipriani, C., Hsieh, C. M., Kamani, K., Rogers, S., & Pentzer, E. (2023). Go with the flow: Rheological requirements for direct ink write printability. Journal of Applied Physics, 134(10).

[13] FERNANDES, Yuri LRL et al. Development of mesoporous ceramic membranes of diatomite/TiO₂/Nb₂O₅ nanocomposites for the treatment of contaminated water. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 11, n. 6, p. 111161, 2023.

[14] CAPASSO, Ilaria et al. Process strategy to fabricate a hierarchical porosity gradient in diatomite-based foams by 3D printing. Scientific reports, v. 10, n. 1, p. 612, 2020.

[15] ZHANG, Yu Xin; HAO, Xiao Dong; LI, Fei; DIAO, Zeng Peng; GUO, Zao Yang; LI, Jing. pH-Dependent degradation of methylene blue via rational-

designed MnO₂ nanosheet-decorated diatomites. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 53, n. 17, p. 6966–6977, abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie5002229>

Anexos

figura 1 - resumo gráfico

Tabela 1 - Formulação base para 7,7g de tinta

Figura 2 - modelo digital

Figura 3 - movimento de preenchimento

Figura 4 - Análise de DRX da diatomita

Figura 5 - Análise de mev da diatomita

Figura 6 - Geometria teste

Figura 7 - Corpo de prova após impressão

Tabela 2 - medidas geométricas dos corpos de prova *duas camadas de impressão

Figura 8 - Análise de DRX do corpo de prova IM600

Figura 9 - Análise de DRX do corpo de prova IM800 e IM1000

Figura 10 - Micrografia dos corpos de prova IM600, IM700,IM800,IM900 E IM1000

Figura 11- Micrografia dos corpos de prova IM600, IM800 e IM1000

Figura 12 - Análise de EDS dos corpos de prova IM600, IM800 e IM1000

CÓDIGO: ET0019

AUTOR: MATHEUS HIDEKI DE OLIVEIRA YOSHY

ORIENTADOR: BISMARCK LUIZ SILVA

TÍTULO: Análise do Comportamento de Solidificação e da Dureza da liga Zn-1%Mn

Resumo

As ligas Zn-Mn são caracterizadas por sua resistência mecânica, boa condutividade elétrica e alta resistência à corrosão. A adição de manganês às ligas de zinco objetiva melhorar a resistência à corrosão, a resistência mecânica, a ductilidade, e a biocompatibilidade, que são propriedades essenciais para utilização em próteses. A presente investigação visa estudar o comportamento de solidificação e a microdureza da liga Zn-1%Mn solidificada direcionalmente em regime transiente de fluxo de calor no sentido vertical ascendente. As evoluções dos parâmetros térmicos como taxa de resfriamento($\dot{T}$) e velocidade de deslocamento da isoterma liquidus(V) foram avaliadas, assim como a macroestrutura, microestruturas, segregação e microdureza Vickers. As amostras foram caracterizadas por Microscopia Óptica, Difração de Raios-X, Fluorescência de Raios-X e Microscópio Eletrônico de Varredura. A liga Zn-1%Mn apresentou uma macroestrutura predominantemente colunar, com uma transição colunar-equiaxial na posição 66mm para TL e VL de 0,267°C/s e 0,247mm/s, respectivamente. A microestrutura é celular tipo placas rica em Zn circundada por uma mistura eutética Zn+MnZn₁₃, com partículas de Mn dispersa em ambas as regiões. Um perfil de macrosegregação do tipo normal foi exibido pelo manganês(saindo de 8,2% para 7,6% nas posições 5mm e 90mm, respectivamente). Os valores de VL e $\dot{T}$ L variaram de 0,43 a 0,23mm/s e 4,55 a 0,19°C/s para as posições 5mm e 90mm. Uma microdureza Vickers média de 71,22HV.

Palavras-chave: Liga Zn-Mn; Solidificação; Microestrutura; Macroestrutura.

TITLE: Design and Solidification of New Alloys for Application in Electronic Microcomponents
Analysis of Solidification Behavior and Hardness of Zn-1wt.%Mn Alloy

Abstract

Zn-Mn alloys are characterized by their mechanical strength, good electrical conductivity, and high corrosion resistance. The addition of manganese to zinc alloys aims to improve corrosion resistance, mechanical strength, ductility, and

biocompatibility, properties that are essential for use in prosthetic applications. The present investigation aims to study the solidification behavior and microhardness of directionally solidified Zn-1wt.%Mn alloy under transient upward vertical heat flow. The evolution of thermal parameters such as cooling rate ($\dot{T}$) and liquidus growth rate (V) was evaluated, as well as the macrostructure, microstructures, segregation, and Vickers microhardness. The Zn-1wt.%Mn alloy exhibited a predominantly columnar macrostructure, with a columnar-to-equiaxed transition (CET) at the 66 mm position, for $\dot{T}_L$ and V_L of 0.267 °C/s and 0.247 mm/s, respectively. The microstructure consists of Zn-rich plate-like cells surrounded by a eutectic mixture of Zn + MnZn₁₃, with dispersed Mn particles in both regions. A normal-type macrosegregation profile was observed for manganese (decreasing from 8.2% to 7.6% at 5 mm and 90 mm, respectively). The values of V_L and $\dot{T}_L$ ranged from 0.43 to 0.23 mm/s and 4.55 to 0.19 °C/s at positions 5 mm and 90 mm from the metal/mold interface, respectively. An average Vickers microhardness of 71.22 HV was observed along the casting.

Keywords: Zn-Mn alloy; Solidification; Microstructure; Macrostructure

Introdução

O processo de solidificação de metais e ligas consiste em fenômenos de transferência de calor e massa, que estão diretamente associados às variáveis de processo como taxa de resfriamento ($\dot{T}$), velocidade de solidificação (V), gradiente térmico (G), grau de super-resfriamento constitucional (SRC), coeficiente de transferência de calor metal/molde (h_i) e à composição química (C_0). Tais parâmetros definirão a microestrutura bruta final e consequentemente as propriedades dos produtos fabricados. Este processo está fortemente presente em pelo menos uma das etapas de produção de peças metálicas, com exceção daquelas fabricadas por metalurgia do pó. O molde permite uma excelente acomodação do metal líquido a fim de conferir as geometrias de peças desejadas, reduzindo a viscosidade, e tornando a solidificação uma das rotas mais econômicas na conformação de uma peça metálica [1]. Ligas do sistema Zn-Mn são caracterizadas por sua resistência mecânica, boa condutividade elétrica e alta resistência à corrosão [19]. A adição de manganês às ligas de zinco tem como objetivo melhorar a resistência à corrosão [20,21]. Uma das aplicações das ligas Zn-Mn é na fabricação de anodos galvânicos utilizados em proteção catódica contra a corrosão. Esses anodos são colocados em contato direto com a superfície metálica a ser protegida, como estruturas de aço submersas em água salgada, eletrodutos ou tanques de armazenamento. A presença do manganês aumenta a eficiência do anodo, prolongando sua vida útil e protegendo efetivamente o metal contra a corrosão [22]. A composição das ligas Zn-Mn pode variar dependendo das aplicações pretendidas e das propriedades desejadas. Usualmente, essa faixa de composição concentra-se abaixo de 1% em massa de Mn em Zn [23]. A solubilidade máxima do manganês no zinco é de 0,8% em massa à temperatura eutética de 416 °C, que é um pouco inferior ao ponto de fusão do zinco (419,58 °C). A solubilidade do Mn no Zn diminui para 0,02% a 200 °C. O eutético próximo do zinco, contém 1,2% de Mn formando uma solução sólida de Mn em Zn [24]. A liga Zn-1%Mn, uma liga hipoeutética, composta por 4,56% de Mn (em massa) em uma temperatura próxima a 390,4 °C, tem uma morfologia celular ou dendrítica. No caso, essa liga apresenta uma matriz rica em Zn com morfologia celular com forma de placas, e as partículas da fase MnZn₁₃ está na mistura eutética e nas interfaces da

matriz Zn e a mistura eutética, $Zn + MnZn_{13}$ [25, 26]. Outra aplicação importante das ligas Zn-Mn é na indústria de baterias. Essas ligas são usadas como componentes em baterias alcalinas de manganês-zinco (conhecidas como pilhas alcalinas), que são amplamente utilizadas em dispositivos eletrônicos portáteis, como controles remotos, relógios e câmeras. A adição de manganês melhora a estabilidade da liga e sua capacidade de fornecer corrente elétrica de forma consistente ao longo do tempo [27, 28]. Além disso, as ligas Zn-Mn também podem ser empregadas em outras aplicações, como na indústria automotiva, onde são utilizadas na fabricação de peças de fundição, como válvulas e componentes de transmissão. Sua alta resistência mecânica e boa usinabilidade são características desejáveis nesses contextos [29]. Recentemente, essas ligas têm sido investigadas com interesse em novos materiais metálicos biodegradáveis [30], devido à sua excelente compatibilidade biológica e taxa moderada de biocorrosão [31, 32].

Metodologia

A liga Zn-1%Mn foi obtida a partir de um dispositivo de solidificação unidirecional vertical ascendente, amplamente utilizado e reportado na literatura especializada [19, 24, 31]. A liga foi fundida em um cadinho de carbetto de Si inserido num forno tipo mufla com temperatura máxima de 1200 °C, com os metais puros sendo colocados nas quantidades adequadas para o teor de 1%Mn. Após a fusão, o metal líquido foi vertido em um conjunto lingoteira-chapa-molde-termopares, com posterior solidificação. Em seguida, o sistema de aquecimento do forno de solidificação direcional foi acionado e a liga fundida dentro do dispositivo. Quando a temperatura atingiu um superaquecimento de 10% acima da temperatura liquidus-TL da liga, a solidificação direcional foi iniciada através do acionamento de um jato d'água na parte inferior da chapa molde. Assim, a solidificação se desenvolveu de forma vertical, de baixo para cima e direcional. Uma série de termopares tipo J foi inserida em diferentes posições ao longo da lingoteira para análise da evolução térmica do processo. Estes dados armazenados na memória de um computador foram posteriormente utilizados para levantamento das variáveis térmicas de solidificação como: as velocidades (V) das isothermas características (temperaturas solidus-TS e liquidus-TL) e taxas de resfriamento- $\dot{T}$. A partir de cada lingote foram retiradas amostras para caracterização macro e microestrutural, e microdureza, conforme descrito abaixo. Os lingotes foram seccionados longitudinalmente ao meio através de uma máquina serra fita sendo uma das metades utilizada para caracterização macroestrutural. Em seguida, as amostras de macroestrutura foram lixadas com lixas de granulometria 120, 180, 240, 320, 400 e 600 mesh, para posterior ataque químico. As superfícies lixadas das ligas foram atacadas quimicamente utilizando-se uma solução aquosa com a seguinte composição, etanol-5%HCl. Os ataques foram realizados nas superfícies das amostras por repetidas vezes com algodão embebido neste reagente químico até a obtenção de uma macroestrutura de qualidade. Logo após, as macroestruturas foram lavadas em água corrente, secas e o resultado da revelação foi registrado, via câmera ou escâner. As amostras seguiram para caracterização microestrutural por microscopia óptica, onde as mesmas foram identificadas de acordo com a posição transversal e longitudinal em relação à interface chapa/molde, com posterior análise metalográfica. Posições específicas foram monitoradas quanto à sua microestrutura em relação à base do lingote, visando correlacionar com os parâmetros térmicos de solidificação. As amostras embutidas foram lixadas sequencialmente por

lixas de granulometria 150, 240, 320, 400, 600, 1200, 1500 e 2000 mesh em lixadeiras rotativas refrigeradas a água. Com as amostras lixadas e limpas, elas foram polidas manualmente com auxílio de uma politriz rotativa, utilizando uma suspensão metalográfica de alumina (granulometria 0,3 μm) e água destilada. A revelação das microestruturas foi realizada mediante imersão das amostras em uma solução química de 88ml de H_2O + 10ml de NHC + 2ml de HCl por um determinado tempo. O registro das microestruturas foi feito com auxílio do microscópio óptico da marca Nikon modelo Eclipse MA2000 disponível no Laboratório de Caracterização Estrutural dos Materiais (LCEM-DEMat-UFRN). Após registro da macroestrutura e das micrografias ópticas, foi realizada a aquisição de imagens via microscópio eletrônico de varredura (MEV-FEG), equipamento da marca Zeiss modelo Auriga 40 disponível no LCEM-DEMat-UFRN, utilizando o detector de elétrons secundários (SE), com o intuito de analisar detalhadamente as fases presentes na microestrutura. Além das imagens capturadas, análises químicas locais por meio da técnica de espectroscopia de dispersão de energia (EDS) acoplada ao MEV foram realizadas, visando entender melhor a composição química das fases presentes. Análises de Difração de Raios-x foram realizadas em amostras retiradas de posições específicas de 5 mm, 30 mm, 50 mm e 90 mm a partir da interface metal/molde, englobando toda a faixa de valores de taxas de resfriamento na liga estudada. A fim de determinar a variação do teor de Mn ao longo do lingote Zn-1%Mn, análises de fluorescência de raios-X (FRX) foram realizadas em diversas posições (amostras transversais), tais quais: 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm e 90 mm a partir da interface metal/molde. As superfícies foram lixadas até uma granulação de 1200 mesh e encaminhadas para análise. O equipamento usado é do modelo EDX-720 da Shimadzu (LCEM/DEMat). Cálculos termodinâmicos pelo método CALPHAD e software de Thermo-calc foram realizados, a fim de extrair informações como diagrama de fases, variação das proporções de cada fase formada durante o processo de solidificação em equilíbrio e fora de equilíbrio, caminho de solidificação e temperaturas de transformação. Essa análise contou com o apoio do Grupo de Pesquisa “Microestruturas e Propriedades em Processos de Solidificação” (M2PS), do Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar, coordenado pelo prof. José Eduardo Spinelli. A fim de estabelecer correlações entre os parâmetros microestruturais e a microdureza das ligas analisadas, foram realizados ensaios de microdureza Vickers em amostras retiradas de posições específicas dos lingotes solidificados direcionalmente. Os ensaios de microdureza foram realizados no LIME DEMat-UFRN. Para cada amostra analisada, foram realizadas dez identificações, a fim de obter uma média e desvio médio. O ensaio foi conduzido com uma carga de 500 gf (gramas-força), com tempo de aplicação de 15 segundos. O ensaio foi realizado utilizando um microdurômetro da marca Future Tech, modelo FM - 810.

Resultados e Discussões

A Figura 01 apresenta o diagrama de fases binário para o sistema Zn-Mn obtido através do software ThermoCalc utilizando a base de dados TCSLD3 em condições de equilíbrio termodinâmico. A Figura 02 mostra o caminho de solidificação para a liga Zn-1%Mn (linha tracejada preta), a partir do diagrama binário parcial (até 10% em massa). Verifica-se que as temperaturas liquidus, eutética e a eutetóide são 390,40 °C e 154,77 °C, respectivamente. Observa-se que a fase primária de MnZn_{13} precipita em 410,0 °C. Com a continuidade do resfriamento, nota-se que o líquido remanescente se

transforma no eutético $\text{MnZn}_{13} + \text{Mn}$ em $390,4^\circ\text{C}$. Resfriando-se ainda mais, observa-se a transformação no eutetóide $\delta\text{Mn} \rightarrow \text{MnZn}_{13} + \alpha\text{Mn}$ a $154,77^\circ\text{C}$. Figura 01: Diagrama de fases binário do sistema Zn-Mn obtido via software ThermoCalc. Figura 02: Diagrama de fases binário parcial para o sistema Zn-Mn, com destaque para a composição química estudada. Para compreender a sequência de formação de fases da liga Zn-1%Mn, a Tabela 01 mostra as temperaturas de transformações e reações existentes. Tabela 01: Reações e temperaturas de transformações de fase na liga Zn-1%Mn de com os dados simulados via software Thermo-calc. Transformação Reação Temperatura ($^\circ\text{C}$) liquidus $\text{L} \rightarrow \text{L} + \text{MnZn}_{13}$ 410,00 eutético $\text{L} \rightarrow \text{MnZn}_{13} + \delta\text{Mn}$ 390,40 eutetóide $\delta\text{Mn} \rightarrow \text{MnZn}_{13} + \alpha\text{Mn}$ 154,77 A Figura 03 mostra a evolução de fração mássica de fases com a temperatura no estado de equilíbrio termodinâmico, resultado esse que corrobora com o discutido para a Figura 02. Figura 03: Evolução da fração mássica de fases com a temperatura para a liga Zn-1%Mn obtida pelo software Thermo-Calc. A Figura 04 apresenta os perfis térmicos da solidificação da liga Zn-1%Mn. Cada curva representa um termopar tipo J que foi inserido na lingoteira a partir da interface metal/molde. Com os perfis térmicos, foi possível monitorar a evolução da temperatura no tempo durante a solidificação direcional. Observou-se que para termopares mais próximos da base refrigerada, a liga exibiu perfis de maior variação da temperatura no tempo, ou seja, maiores taxas de resfriamento, ocorrendo o inverso para posições mais afastadas da interface metal/molde. Figura 04: Perfis térmicos experimentais para a liga Zn-1%Mn. A Figura 05 apresenta a variação da posição (P) com o tempo (t) de passagem da isoterma liquidus para cada termopar a partir da interface metal/molde. Uma linha de tendência do tipo potencial descreveu os pontos experimentais. Os valores da posição variaram de 5,43 a 86,91 mm no intervalo de 10 a 320 segundos. A partir dos pares (P,t) e da expressão tipo potência, com a derivada da mesma, foi possível determinar a velocidade da isoterma liquidus (VL) em cada posição do lingote Zn-1%Mn. As Figura 06 e 07 mostram as evoluções da velocidade da isoterma liquidus (VL) e da taxa de resfriamento ($\dot{T}$ L) com a posição ao longo do lingote Zn-1%Mn. Notou-se um decaimento significativo de VL e $\dot{T}$ L à medida que há o afastamento da base refrigerada. Esses comportamentos estão associados às camadas sólidas que são formadas durante a solidificação direcional, reduzindo assim a eficiência de extração de calor da chapa-molde em relação ao metal líquido. Os valores de VL e $\dot{T}$ L variaram de 0,43 a 0,23 mm/s e 4,55 a 0,19 $^\circ\text{C/s}$ para 5 mm e 90 mm, respectivamente. Figura 05: Evolução da posição (P) com o tempo (t) de passagem de isoterma liquidus durante a solidificação do lingote Zn-1%Mn. Figura 06: Evolução da velocidade da isoterma liquidus (VL) com a posição (P) para a liga Zn-1%Mn. Figura 07: Evolução da taxa de resfriamento ($\dot{T}$ L) com a posição (P) para a liga Zn-1%Mn. A Figura 08 apresenta a curva de resfriamento, destacando as temperaturas liquidus (TL) e eutética (TE) durante a solidificação em um cadinho de carbetto de silício circundado por uma manta térmica de fibra vidro a fim de que a taxa de resfriamento seja a mais lenta possível, entre 0,5 e 1 $^\circ\text{C/s}$. Neste cadinho, uma fração do metal líquido foi vazado e com o auxílio de um termopar tipo J, a curva em análise foi extraída. Conforme a curva de resfriamento experimental, as temperaturas liquidus e eutética são 426°C e $417,7^\circ\text{C}$, respectivamente. A curva de resfriamento obtida experimentalmente para a liga Zn-1%Mn apresenta valores de TL e TE de $426,0^\circ\text{C}$ e $417,7^\circ\text{C}$, respectivamente, os quais diferem dos valores previstos pela simulação termodinâmica, que indicaram temperaturas de $410,0^\circ\text{C}$ e $390,40^\circ\text{C}$, respectivamente. Essa divergência pode ser atribuída ao fato de que os dados simulados assumem condições de equilíbrio termodinâmico, com composição homogênea e taxa de resfriamento constante,

enquanto o experimento envolve um ambiente de solidificação transiente, sujeito a gradientes térmicos e variações na taxa de resfriamento. De acordo com a Figura 09, a macroestrutura da liga Zn-1%Mn apresentou um crescimento colunar predominante a partir da base refrigerada, com uma transição colunar-equiaxial (TCE) na posição 66 mm conforme indicado abaixo. Figura 08: Curva de resfriamento da liga Zn-1%Mn. Figura 09: Macroestrutura da liga binária Zn-1%Mn. A Figura 10 apresenta o perfil de macrossegregação do manganês (Mn) ao longo da liga Zn-1%Mn. Nota-se que os teores de Mn são inferiores ao teor nominal (1% - linha preta tracejada), excetuando as posições 20 e 60 mm a partir da interface metal/molde. A média desconsiderando estas posições foi de 0,81% em relação à 1% de Mn [33]. Figura 10: Perfil de macrossegregação do Mn na liga Zn-1%Mn A Figura 11 exibe os difratogramas de DRX para diferentes posições ao longo do lingote Zn-1%Mn. Observa-se a identificação das fases de Zn e MnZn13 e alguns picos de menores intensidades das fases δ Mn, com a fase rica em Zn apresentando a maior presença de picos [34]. Ao longo das posições 5 mm, 30 mm, 50 mm e 90 mm, a fase Zn aumentaram drasticamente a intensidade nos ângulos de difração 2θ de 39° e 44° , enquanto em 2θ de 54° não existe mudança de intensidade e nos ângulos de 82° e 87° há um aumento com uma seguida diminuição de intensidade, na fase δ Mn existe um pequeno aumento de intensidade em 42° , para a fase MnZn13 em 65° a fase não apresenta um pico de intensidade definido e em 71° há um adição de intensidade, no entanto, na posição de 30mm não existe a confirmação da presença da fase [35]. Todas as fases encontradas estão de acordo com a literatura [36, 37, 38]. Os picos associados confirmam as fases previstas (Zn, δ Mn, MnZn13) na simulação via software Thermo-calc. Para as fases MnZn13 e a rica em Zn, nota-se que não houve uma tendência de maiores ou menores intensidades com a variação da posição ao longo do lingote Zn-Al-Ag [35, 37, 38]. Para a fase δ Mn, verificou-se uma tendência de aumento gradual da intensidade ao longo do comprimento do lingote, com picos menos intensos nas regiões iniciais e crescimento progressivo da intensidade em posições mais afastadas da base, sugerindo um enriquecimento local da fase δ Mn com o avanço da solidificação [37, 38]. Além disso, o ângulo de difração (2θ) em 71° verifica que a intensidade da fase MnZn13 segue uma tendência de diminuição à proporção que a posição aumenta [37, 38, 39], e a fase Zn tem um pico de intensidade alto no início e na posição 30mm ocorre o desaparecimento fase e um tendência ao longo das demais posições [35, 37, 38]. Além de que, as fases Zn, Mn e MnZn13, apresentam uma tendência de ter elevado pico de intensidade em comparação às posições iniciais, com a formação de mais intermetálicos nas posições finais [37, 38]. Figura 11: Difratogramas de raios-x para a liga Zn-1%Mn. A Figura 12 apresenta as microestruturas obtidas por microscopia óptica, para a liga Zn-1%Mn. Nota-se uma microestrutura celular tipo placa, com matriz rica em Zn circundada por uma mistura eutética Zn + MnZn13. Além disso, observa-se ainda uma fase rica em Mn dispersa em ambas as regiões. À medida que se afasta da base refrigerada, verifica-se que a escala microestrutural aumenta, assim como o tamanho das partículas ricas em Mn. Esse comportamento é decorrente das maiores taxas de resfriamento para as posições mais afastadas da interface metal/molde. Figura 12: Microestruturas transversais obtidas por microscopia óptica da liga Zn-1%Mn nas posições (a) 5 mm; (b) 30 mm; (c) 50 mm; (d) 90 mm a partir da interface metal/molde. (a) (b) (c) (d) A Figura 14 apresenta uma microestrutura típica obtida por MEV da liga Zn-Mn estudada. Observa-se a presença das fases Zn, δ Mn e MnZn13, conforme destacado na imagem [26, 38, 40, 42]. Destacam-se estruturas celulares alongadas em formato de placas [39, 40], com interfaces claras entre regiões distintas da microestrutura. Essa morfologia

indica um crescimento celular na fase sólida rica em Zn, circundado por uma mistura eutética formada durante a reação secundária, $\text{Zn} + \text{MnZn}_{13}$ [39, 40]. Além disso, são visíveis partículas escuras dispersas ao longo da matriz, que provavelmente correspondem à fase δMn [38, 42]. Figura 14: Microestrutura obtida por microscopia eletrônica de varredura da liga Zn-1%Mn. A Figura 15 apresenta o perfil de microdureza Vickers (HV) ao longo do lingote Zn-1%Mn. Cada ponto representa uma média de 10 medidas e as barras de erro são os desvios médios. Observa-se que a microdureza não variou com a escala microestrutural, permanecendo em torno de uma média de 71,22 HV. Figura 15: Evolução de microdureza Vickers com a posição para a liga Zn-1%Mn.

Conclusão

Considerando os resultados obtidos experimentalmente realizados neste trabalho, conclui-se que: Os cálculos termodinâmicos indicaram temperaturas liquidus, eutética e eutetóide, de 410,0 °C, 390,4 °C e 154,77 °C, respectivamente. Enquanto os valores experimentais termodinâmicos apresentaram temperaturas liquidus e eutética, de 426,0 °C, 417,7 °C, respectivamente; A macroestrutura exibiu um crescimento predominantemente colunar, com uma transição colunar-equiaxial (TCE) na posição 66 mm VL e TL variaram de 0,43 a 0,23 mm/s e 4,55 a 0,19 °C/s, respectivamente. A liga Zn-1%Mn apresentou uma microestrutura celular tipo com matriz rica em Zn circundada por uma mistura eutética $\text{Zn} + \text{MnZn}_{13}$, e ainda com partículas de Mn dispersas em ambas as regiões. Tais fases foram identificadas por DRX; Uma média de 71,22 HV tem sido observada ao longo do lingote Zn-1%Mn.

Referências

- [1] GARCIA, A. Solidificação: Fundamentos e Aplicações. 2ª edição. Campinas: Editora da Unicamp, 2007, 399 p. [2] BRITO, C.C. Parâmetros térmicos e microestruturais na Solidificação Transitória de ligas Al-Mg e AlMg-Si e Correlação com Resistências Mecânicas e à Corrosão. 2016. 205 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2016. [3] COSTA, T.A.P.S. Microestruturas de Solidificação e Resistência ao Desgaste de Ligas Monotéticas Al-Bi-Sn. 2016. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2016. [4] FILHO, J.M.S.D. Solidificação Transitória e Permanente de Ligas Monofásicas e Peritética Sn-Sb e Sn-Sb- (Ag; Cu): Evolução Microestrutural, Molhabilidade e Propriedades Mecânicas. 2016. 149 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2016. [6] MERTINGER, V. et al. Gravity influenced convection in Al-Ni melt. Materials Science Forum, v. 215-216, p. 331-338, 1996. [7] JONES, H. Some effects of solidification kinetics on microstructure formation in aluminium base alloys. Materials Science and Engineering A, v. 413-414, p.165-173, 2005. [8] GRUGEL, R. N. Secondary and tertiary dendrite arm spacing relationships in directionally solidified Al-Si alloys. Journal of Materials Science, v. 28, p. 677-683, 1993. [9] KURZ, W.;

FISHER D.J. Fundamentals of Solidification, 4th edition. Trans Tech Publications Ltd, 1981, 304 p. [10] ROSA, D.M. Estruturas Celulares, Transição Celular/Dendrítica e Estruturas Dendríticas na Solidificação Unidirecional Transitória. 2007. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2007. [11] OKAMOTO, T.; KISHITAKE, K. Dendritic structure in unidirectionally solidified aluminum, tin, and zinc base binary alloys. Journal of Crystal Growth, v. 29, p. 137-146, 1975. [13] TRIVEDI, R. Interdendritic spacings: Parte II. A comparison of theory and experiment. Metallurgical and Materials Transactions A, v. 15A, n° 6, p. 977-982, 1984. [14] HUNT, J.D.; LU, S.Z. Numerical modeling of cellular array growth: spacing and structure predictions. Metallurgical and Materials Transactions A, v. 27A, p. 611-623, 1996. [15] BOUCHARD, D.; KIRKALDY, J.S. Scaling of intragranular dendritic microstructure in ingot solidification. Metallurgical and Materials Transactions B, v. 27B, p.101-113, 1996. [16] BOUCHARD, D.; KIRKALDY, J.S. Prediction of dendrite arm spacings in unsteady-and steady-state heat flow of unidirectionally solidified binary alloys. Metallurgical and Materials Transactions B, v. 28, n° 4, p. 651-663, 1997. [17] BARBOSA, R. J. Metais não ferrosos e suas ligas: Microestrutura, propriedades e aplicações, 1ª edição, editora e-papers, 2014, 532 p. [18] BARNHURST, R. J. Zinc and Zinc alloys. ASM Properties and Selection: Nonferrous alloys and special-purpose, v. 2, p. 1589-1618, 1990. [19] SHUAI, C.; ZHONG, S.; DONG, Z.; HE, C.; SHUAI, Y.; YANG, W.; PENG, S. Peritectic-eutectic transformation of intermetallic in Zn alloy: Effects of Mn on the microstructure, strength and ductility. Materials Characterization. 2022, v. 190, 112054. [20] LU, Gang; CHEN, Chang; ZHANG, Dechuang; GUO, Lin; LIN, Jianguo; DAI, Yilong. Optimization of mechanical, corrosion properties and cytotoxicity of biodegradable Zn-Mn alloys by synergy of high-pressure solidification and cold rolling process. Journal of Alloys and Compounds, v. 1005, p. 175988, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.175988>. [21] ZHU, X. et al. Strengthening mechanism and biocompatibility of degradable Zn-Mn alloy with different Mn content. Materials Today Communications, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103639> [22] SYLLA, D.; REBERE, C.; GADOULEAU, M.; SAVALL, C.; CREUS, J.; REFAIT, PH. Electrodeposition of Zn-Mn alloys in acidic and alkaline baths. Influence of additives on the morphological and structural properties. Journal of Applied Electrochemistry. 2005, 35, 1133–1139. [23] ZHU, X.; REN, T.; GUO, P.; YANG, L.; SHI, Y.; SUN, W.; SONG, Z. Strengthening mechanism and biocompatibility of degradable Zn-Mn alloy with different Mn content. Materials Today Communications. 2022, v. 31, 103639. [24] Lolov, M., Djulgerov, N. & Gyurov, S. Study of the Peculiarities of the Zn-Mn Phase Diagram and Their Effect on the Superplastic Behavior of Fine-Grained Zn-Mn Alloys. J. of Materi Eng and Perform 25, 3838–3844 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11665-016-2184-3> [25] Talita A. VIDA, Cássio A.P. SILVA, Thiago S. LIMA, Noé CHEUNG. Crystopher BRITO, Amauri GARCIA. Tailoring microstructure and microhardness of Zn-1wt.%Mg-(0.5wt.%Mn, 0.5wt.%Ca) alloys by solidification cooling rate. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. Volume 31. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(21\)65559-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(21)65559-0). [26] SANTOS, Washington Luis Reis. Microestruturas de solidificação, propriedades mecânicas e molhabilidade de ligas de Zn-Sn para soldagem. 2016. 1 recurso online (140 p.) Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: 20.500.12733/1629499. [27] TONEGAWA, T. K. Eletrodeposição de ligas Zn-Mn a partir de materiais eletrolíticos recuperados de pilhas alcalinas para a proteção a

corrosão: reaproveitamento de resíduos para proteção ao processo corrosivo. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2020. 83 f. [28] MORAIS, M. N. Desenvolvimento de Processos de Valorização de Baterias Domésticas Esgotadas. Dissertação (Mestrado). Instituto Politécnico de Portalegre. 2013. [29] RUBIN, W. Estudo da influência do complexo bórico sorbitol no processo de eletrodeposição, morfologia e composição da liga Zn-Mn. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009. [30] SU, Y.; COCKERILL, I.; WANG, Y.; QIN, Y.; CHANG, L.; ZHENG, Y.; ZHU, D. Zinc-Based Biomaterials for Regeneration and Therapy. *Trends in Biotechnology*. 2019, v. 37, 428-441. [31] JIA, B.; YANG, H.; HAN, Y.; ZHANG, Z.; QU, X.; ZHUANG, Y.; WU, Q.; ZHENG, Y.; DAI, K. In vitro and in vivo studies of Zn-Mn biodegradable metals designed for orthopedic applications. *Acta Biomaterialia*. 2020, v. 108, 358-372. [32] SUN, J.; ZHANG, X.; SHI, Z.; GAO, X.; LI, H.; ZHAO, F.; WANG, J.; WANG L. Development of a high-strength Zn-Mn-Mg alloy for ligament reconstruction fixation. *Acta Biomaterialia*. 2021, 119, 485-498. [33] VIDA, T. A. et al. Effects of Macrosegregation and Microstructure on the Corrosion Resistance and Hardness of a Directionally Solidified Zn-5.0wt.%Mg Alloy. *Materials Research*, 2019. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0009>. [34] ZHU, Xinglong; REN, Tiantian; GUO, Pushan; YANG, Lijing; SHI, Yixuan; SUN, Wensheng; SONG, Zhenlun. Strengthening mechanism and biocompatibility of degradable Zn-Mn alloy with different Mn content. *Materials Today Communications*, v. 31, p. 103639, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103639>. [35] ORTIZ, Z. I.; DÍAZ-ARISTA, P.; MEAS, Y.; ORTEGA-BORGES, R.; TREJO, G. Characterization of the corrosion products of electrodeposited Zn, Zn-Co and Zn-Mn alloys coatings. *Corrosion Science*, v. 51, n. 11, p. 2703-2715, nov. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.07.002>. [36] SHI, Zhang-Zhi; YU, Jing; JI, Zhi-Kai; et al. Influence of solution heat treatment on microstructure and hardness of as-cast biodegradable Zn-Mn alloys. *Journal of Materials Science*, v. 54, p. 1728-1740, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2905-0>. [37] SHUAI, Cijun; ZHAO, Yang; LI, Chuanzhi; DENG, Youwen; ZHAO, Zhenyu; GAO, Chengde. Supersaturated solid solution enhanced biodegradable Zn-Mn alloys prepared by mechanical alloying and selective laser melting. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 943, p. 169145, 2023

Anexos



Figura 01: Diagrama de fases binário do sistema Zn-Mn obtido via software ThermoCalc.

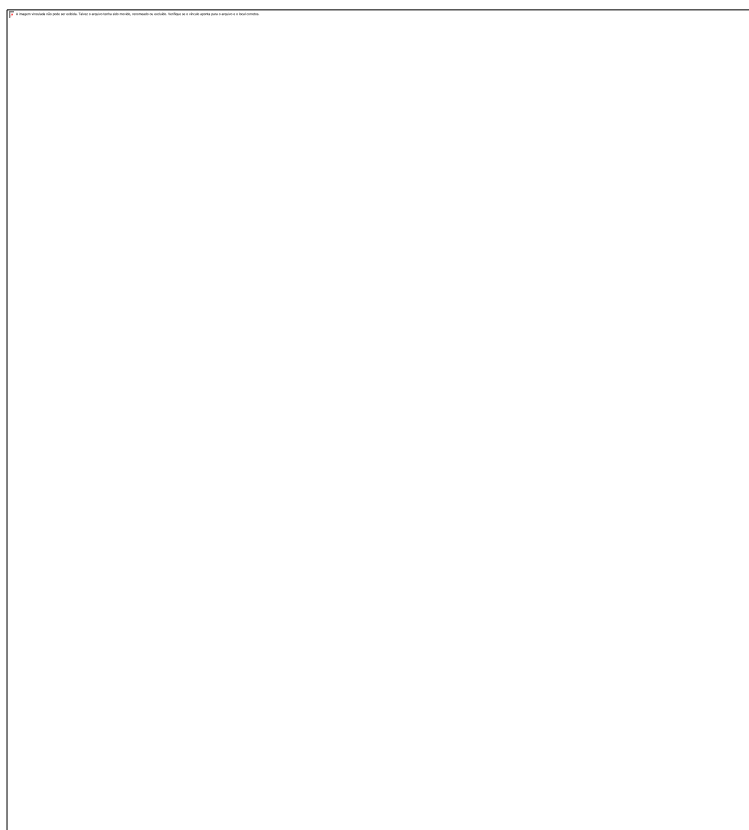


Figura 02: Diagrama de fases binário parcial para o sistema Zn-Mn, com destaque para a composição química estudada.



Figura 03: Evolução da fração mássica de fases com a temperatura para a liga Zn-1%Mn obtida pelo software Thermo-Calc.

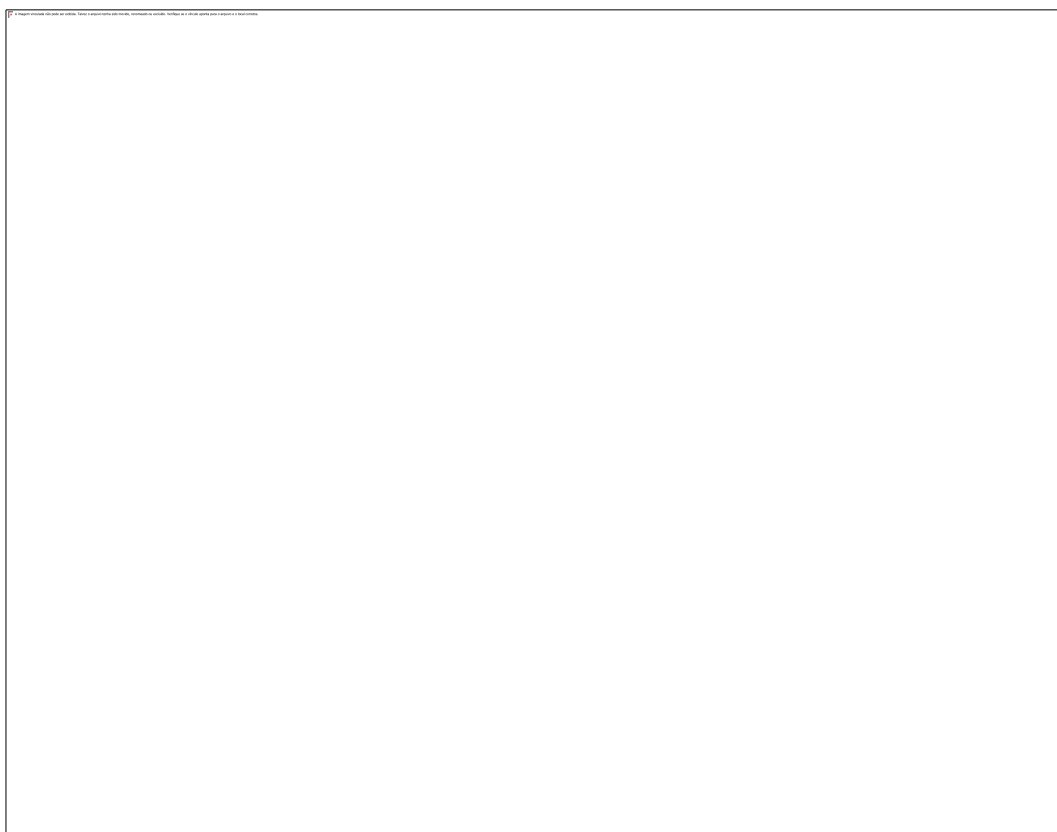


Figura 04: Perfis térmicos experimentais para a liga Zn-1%Mn.

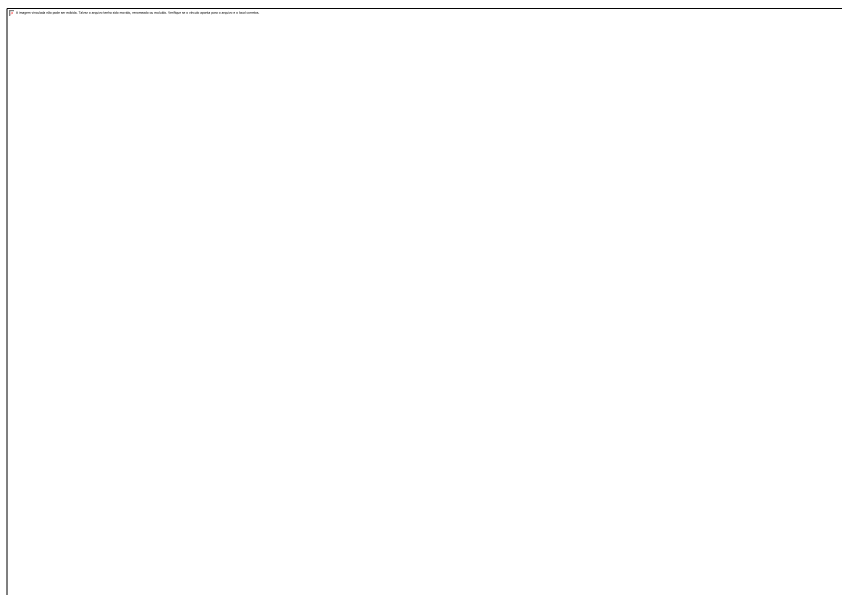


Figura 05: Evolução da posição (P) com o tempo (t) de passagem de isoterma liquidus durante a solidificação do lingote Zn-1%Mn.

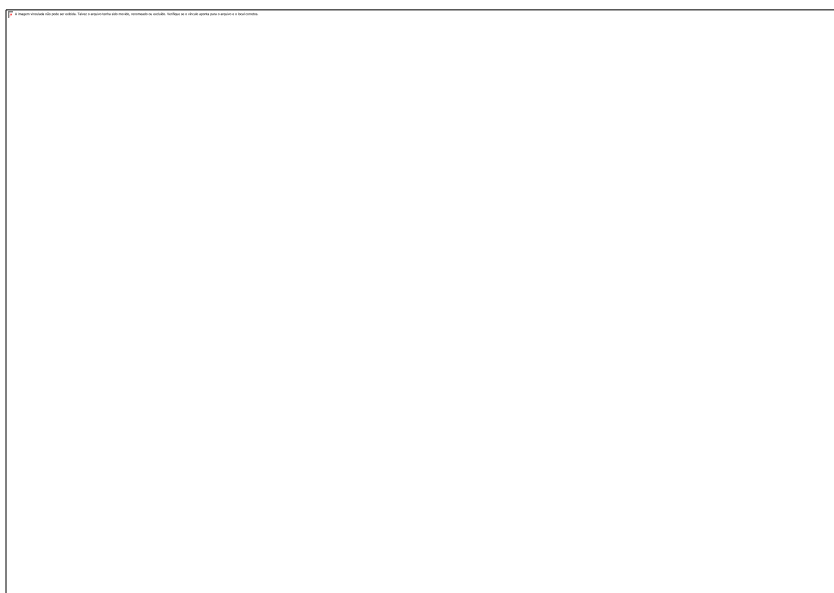


Figura 06: Evolução da velocidade da isoterma liquidus (VL) com a posição (P) para a liga Zn-1%Mn.

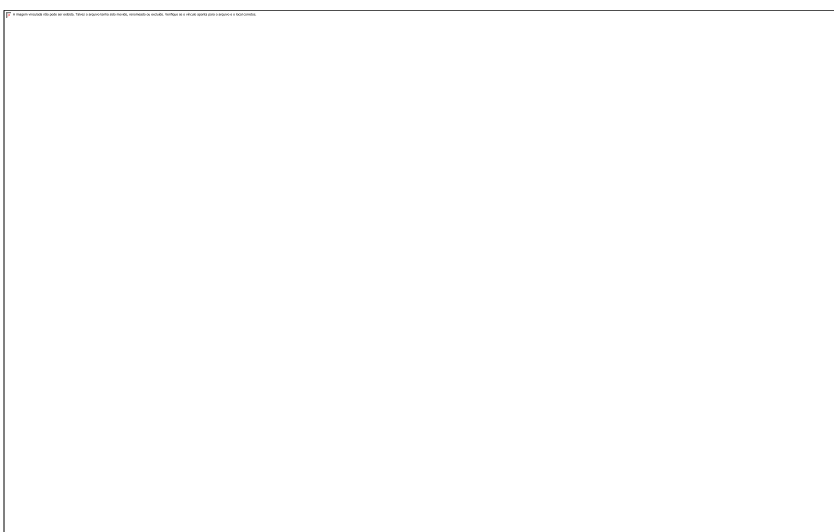


Figura 07: Evolução da taxa de resfriamento ($\dot{T}_L$) com a posição (P) para a liga Zn-1%Mn.

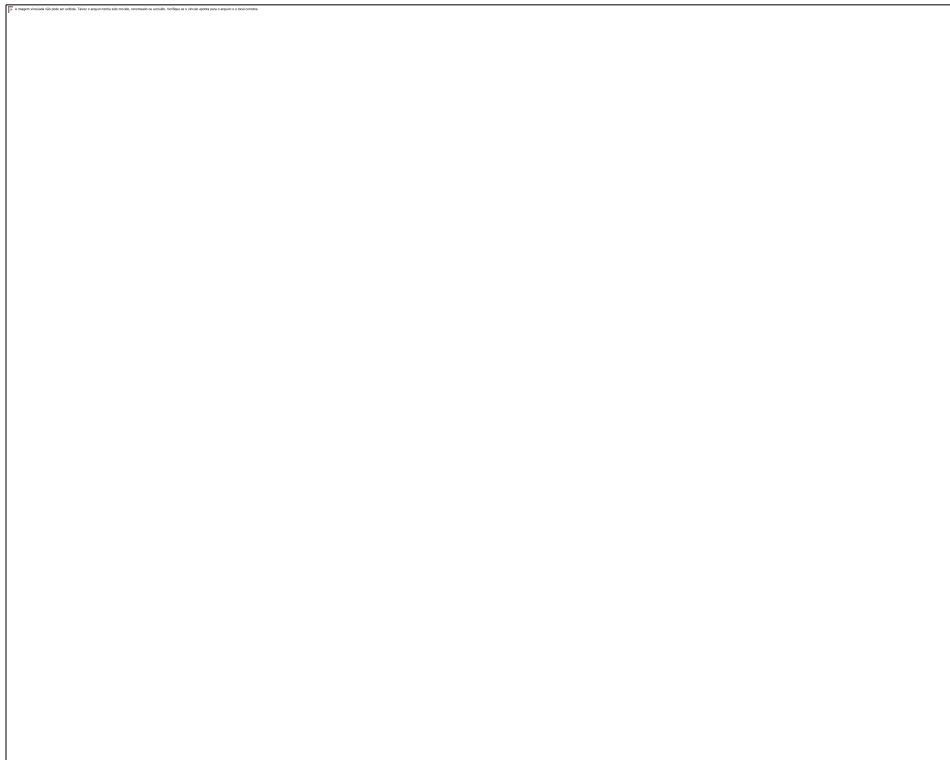


Figura 08: Curva de resfriamento da liga Zn-1%Mn.

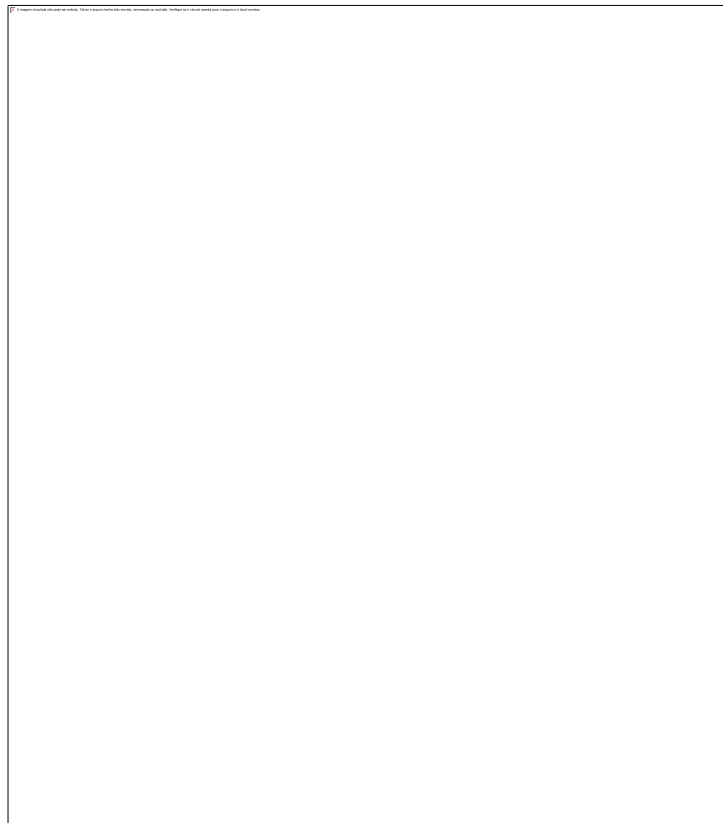


Figura 09: Macroestrutura da liga binária Zn-1%Mn.



Figura 10: Perfil de macrossegregação do Mn na liga Zn-1%Mn

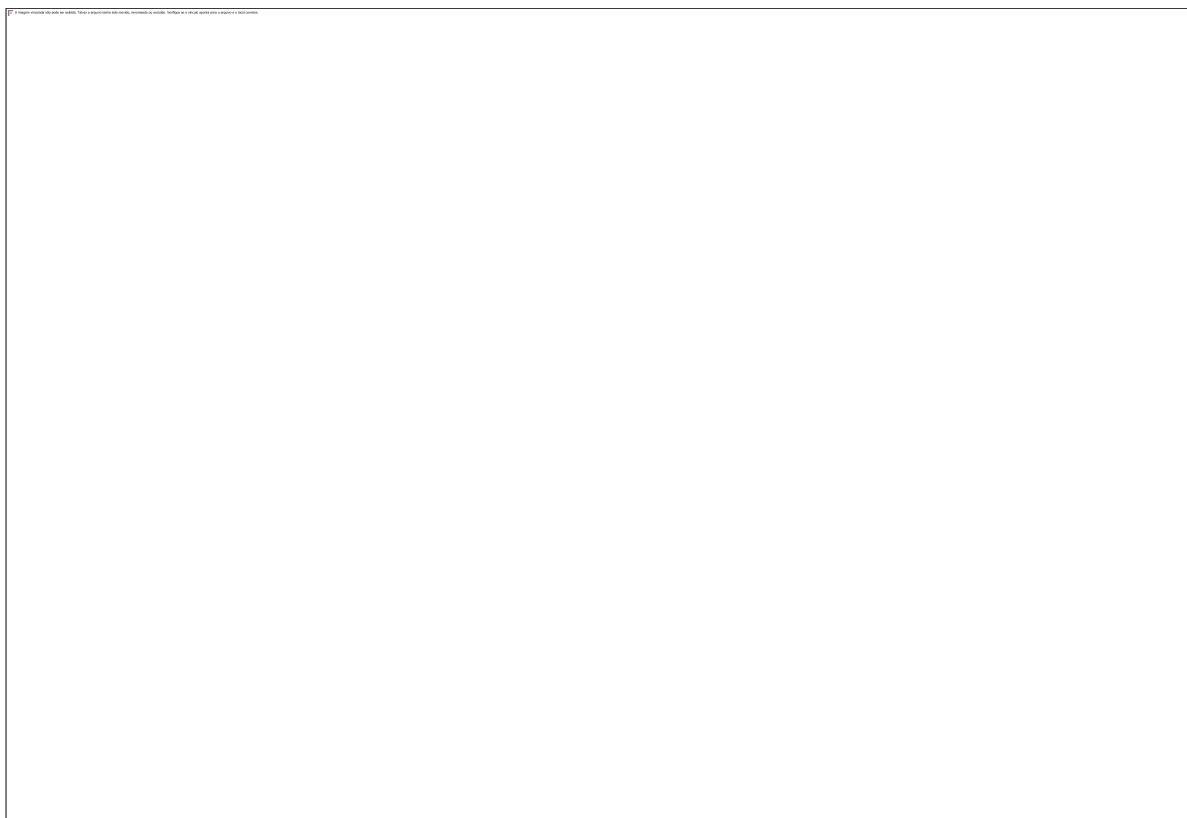


Figura 11: Difratogramas de raios-x para a liga Zn-1%Mn.

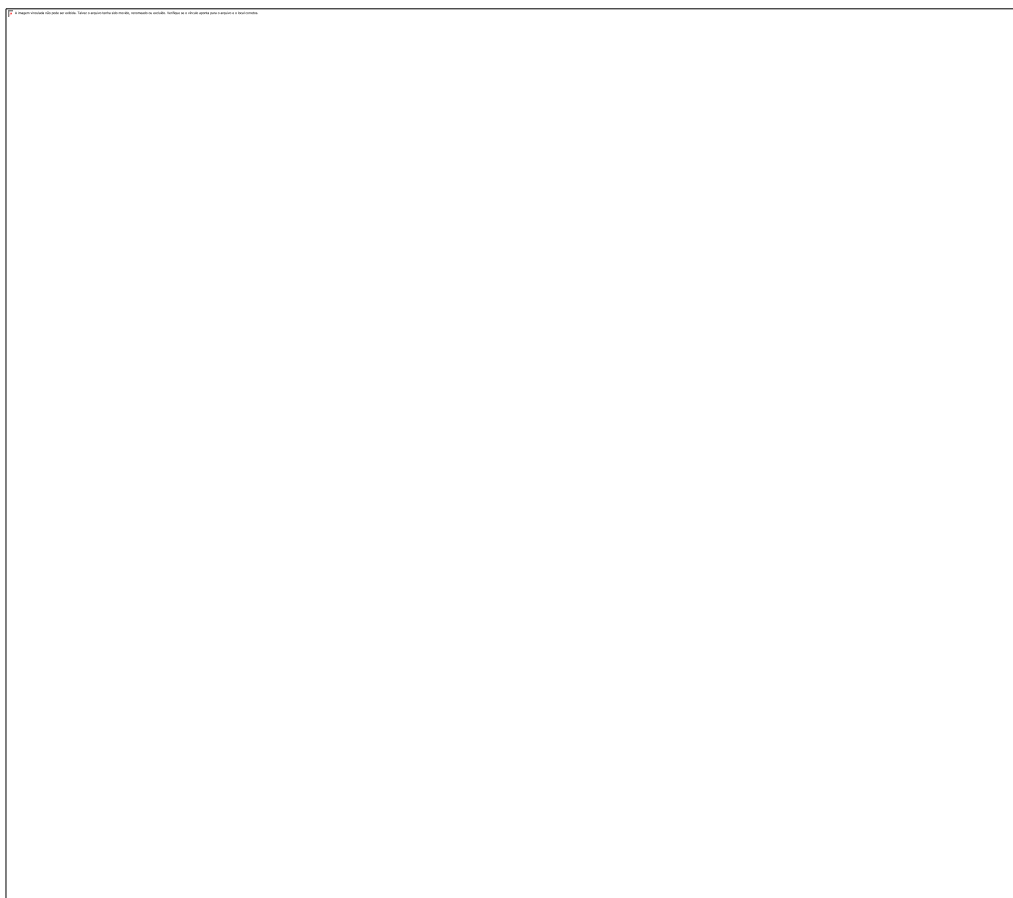


Figura 12: Microestruturas transversais obtidas por microscopia óptica da liga Zn-1%Mn nas posições(a) 5 mm; (b) 30 mm; (c) 50 mm; (d) 90 mm a partir da interface metal/molde.



Figura 13: Microestrutura obtida por microscopia eletrônica de varredura da liga Zn-1%Mn.

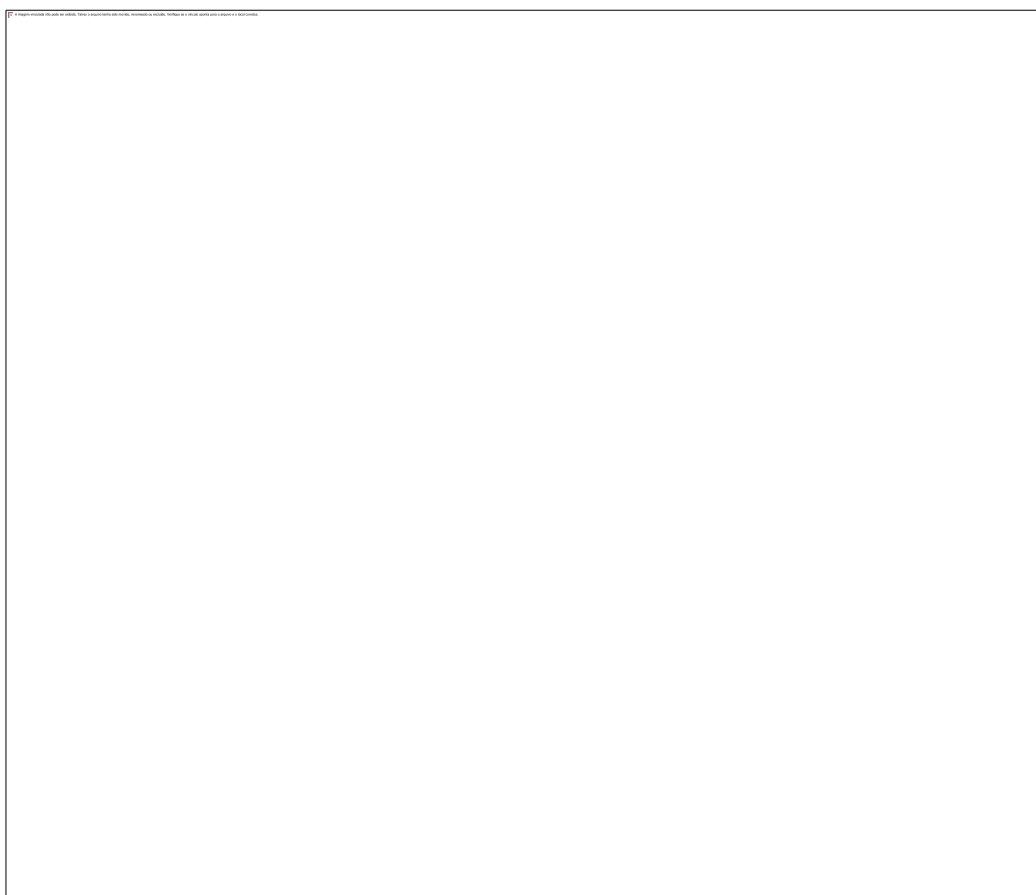


Figura 14: Evolução de microdureza Vickers com a posição para a liga Zn-1%Mn.

CÓDIGO: ET0020

AUTOR: ANTONIO PEREIRA QUEIROZ

ORIENTADOR: MARIANA RODRIGUES DE ALMEIDA

TÍTULO: Meninas na ciência: SISTEMATIZAÇÃO DOS FATORES DETERMINANTES E INFLUENCIÁVEIS NA DECISÃO DO CURSO ENGENHARIA

Resumo

Este projeto teve como objetivo desenvolver e implementar estratégias educacionais inspiradas em práticas do setor aeroespacial, adaptadas para instituições de ensino fundamental e médio. Diante da necessidade de ampliar a inclusão e a diversidade de gênero na indústria aeroespacial, buscou-se mitigar a sub-representação feminina e explorar o potencial das mulheres na ciência e na tecnologia. As ações do projeto contemplaram o desenvolvimento de projetos colaborativos com enfoque no empoderamento feminino, estimulando a liderança e a capacidade de inspirar transformações nas comunidades e no setor espacial. A integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 foi priorizada, orientando a disseminação de conhecimentos que apoiam a sustentabilidade e incentivam práticas responsáveis voltadas à preservação do planeta. Ao longo da execução, foram realizadas capacitações técnicas em geoprocessamento, mudanças climáticas e sensoriamento remoto, com o intuito de preparar as participantes para contribuir efetivamente para os ODS, especialmente os voltados à ação climática, vida terrestre, educação de qualidade e igualdade de gênero. Após as capacitações, a equipe, com apoio de seus professores, desenvolveram ações de disseminação dos conhecimentos nas escolas públicas parceira. O projeto foi concluído com a realização de workshops que promoveram a troca de experiências e a socialização dos conhecimentos adquiridos.

Palavras-chave: Espaço, Educação, Inclusão

TITLE: Girls in Science: Systematization of Determining and Influential Factors in the Decision to Pursue an Engineering Degree

Abstract

This project aimed to develop and implement educational strategies inspired by practices from the aerospace sector, adapted for primary and secondary schools. Given the need to increase inclusion and gender diversity in the aerospace industry, the project sought to address the underrepresentation of women and to explore the potential of women in science and technology. The project's activities included the development of collaborative initiatives focused on female empowerment, encouraging leadership and the ability to inspire change within communities and the space sector. The integration of the Sustainable Development Goals (SDGs) from the 2030 Agenda was prioritized, guiding the dissemination of knowledge that supports sustainability and promotes responsible practices aimed at protecting the planet. Throughout the implementation, technical training sessions were held on geoprocessing, climate change, and remote sensing, aiming to prepare participants to contribute effectively to the SDGs, especially those related to climate action, life on land, quality education, and gender equality. Following the training, the team, supported by their teachers, carried out knowledge dissemination activities in partner public schools. The project concluded with workshops that fostered the exchange of experiences and the sharing of acquired knowledge.

Keywords: Space, Learning, Inclusion

Introdução

O Programa GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment) é uma iniciativa internacional de ciência cidadã e educação ambiental que promove a participação ativa de estudantes, professores, cientistas e membros da comunidade na coleta e análise de dados ambientais. Com foco na formação de uma consciência crítica e científica sobre o meio ambiente, o programa contribui para a compreensão dos sistemas naturais em escalas locais, regionais e globais.

Buscou-se ampliar a participação de escolas públicas em atividades interativas de educação ambiental, com ênfase em metodologias ativas e lúdicas. O objetivo foi facilitar a apropriação de conceitos complexos por meio de experiências práticas, promovendo a interdisciplinaridade e o engajamento dos participantes.

Metodologia

Foi elaborado um portfólio de atividades pedagógicas com foco em cinco eixos temáticos centrais: pedosfera, biosfera, atmosfera, hidrosfera e a Terra como sistema integrado. As atividades foram aplicadas em turmas de escolas públicas, envolvendo estudantes do ensino fundamental e médio.

O portfólio incluiu jogos educativos, dinâmicas de grupo, oficinas de construção e apresentações temáticas. Uma das dinâmicas de destaque foi o lançamento de foguetes caseiros, que combinou conceitos de química (reações químicas), física (pressão e

trajetória) e meio ambiente (uso de materiais reutilizáveis). As atividades foram desenvolvidas de forma colaborativa, com mediação de professores e bolsistas do projeto.

Resultados e Discussões

A aplicação das atividades demonstrou alto grau de engajamento dos estudantes e facilitou a assimilação de conceitos científicos relacionados aos sistemas terrestres. As dinâmicas interativas despertaram curiosidade, promoveram o trabalho em equipe e estimularam o pensamento crítico.

A atividade de lançamento de foguetes, em particular, destacou-se por integrar conteúdos curriculares com prática experimental, permitindo aos alunos compreenderem, de forma concreta, fenômenos relacionados à atmosfera e à ação das forças naturais.

Conclusão

Os resultados indicam que a adoção de metodologias lúdico-experimentais no ensino de ciências pode fortalecer a educação ambiental e científica, sobretudo em contextos escolares com recursos limitados, como é o caso de muitas escolas públicas

Referências

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). Observatório do Sistema Espacial Brasileiro. Brasília: Agência Espacial Brasileira, 2020. Disponível em: <https://observatorio.aeb.gov.br/dados-e-indicadores/sistemas-espaciais/indicadores-e-dados-sobre-aplicacoes>

ALI, R.; ASHRAF, I. Active learning in optics for girl. 14th Conference on Education and Training in Optics and Photonics, ETOP 2017, 2017, Hangzhou, China. Disponível em: <https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=ETOP-2017-104520L&seq=0>

ADAMS, R.; LENTON, K. Engaging colleagues in active learning pedagogies through

mentoring and co-design. 14th Conference on Education and Training in Optics and Photonics, ETOP 2017, Hangzhou, China. Disponível em:
<https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?uri=ETOP-2017-104522D&seq=0>

ARMIATI; YERIZON; NISCAYA, R.; Flipped classroom based mathematics learning equipment for students in grade x SMA. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1317, The 3rd International Conference on Mathematics, Sciences, Education, and Technology 4–5 October 2018, Padang, Indonesia. Disponível em:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1317/1/012129>

ANDRADE, E. P. Retrato da hélice tríplice: contribuições de universidades públicas brasileiras ao processo de inovação. Universidade Federal da Bahia. Fevereiro, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/36804>

BATISTA, M. C. S. Gamificação na Formação do Leitor Literário. Boletim de Conjuntura (BOCA), Boa Vista, v. 14, n. 40, p. 251–269, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.7811305. Disponível em:
<https://revista.ioles.com.br/boca/index.php/revista/article/view/1126>

BEDREGAL-ALPACA, N.; et al. A Gamification Experience and Virtual Reality in Teaching Astronomy in Basic Education. International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA), v. 11, nº 5, 2020. Disponível em:
<https://thesai.org/Publications/ViewPaper?Volume=11&Issue=5&Code=IJACSA&SerialNo=66>

BELTRAMIN, C. F.; CASTAMAN, A. S. Gênero e Educação: um olhar sob a ótica da pedagogia da autonomia. 2022. Plurais Revista Multidisciplinar, 7, 1-16. Disponível em: <https://doi.org/10.29378/plurais.2447-9373.2022.v7.n.8581>

BEZERRA, Z. F. et al.. Comunidade e escola: reflexões sobre uma integração necessária. Educar, Curitiba, n. 37, p. 279-291, maio/ago. 2010. Editora UFPR. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/er/a/Q8XbHj8zhLjgLpN9TMQmh8q/?lang=pt&format=html>

BOTELHO, V.; PESSOA, S. Financiamento estudantil no brasil: como definir

sustentabilidade? Repositório do Conhecimento do IPEA, vol. 46, agosto/2016.
Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7081> BRANDÃO, C. R. O
que é educação. São Paulo: Brasiliense, Coleção Primeiros Passos, 28ª Edição, 1993.

BRASIL. Lei Nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da
educação nacional. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1996.

CARDOSO, C. A.; FERREIRA, V. A.; BARBOSA, F. C. G. (Des)igualdade de acesso
à educação em tempos de pandemia: uma análise do acesso às tecnologias e das
alternativas de ensino remoto. Revista Com Censo: Estudos Educacionais do Distrito
Federal : v. 7 n. 3 (2020). Disponível em:
<https://periodicos.se.df.gov.br/index.php/comcenso/article/view/929/554>

CAVALHEIRO, G. D.; GÜNDEL, B. Gamificação na Educação. Paineis de Pesquisas
em Design, v. 5, nº 5, 2023.

CHUN, Y. et al. Can training and apprentice programs in STEM increase worker life
satisfaction and optimism? International Journal of STEM Education. Vol. 11 (6).
January 2024. Disponível em: [https://link.springer.com/article/10.1186/s40594-023-](https://link.springer.com/article/10.1186/s40594-023-00461-4)
00461-4

COHRSEN, C; PAGE, J. Articulating a Rights-based Argument for Mathematics
Teaching and Learning in Early Childhood Education. Australasian Journal of Early
Childhood. Setembro, 2016. Disponível em:
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/183693911604100313>

COSTA, J. A. C.; DE OLIVEIRA, J. D.; DANTAS, D. R. Metodologias ativas e suas
contribuições no processo de ensino-aprendizagem. Série Educar: Prática Docente. 1ª
Edição: vol. 40. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2020.

COSTA JUNIOR, J. F. et al. Metodologias ativas de aprendizagem e a promoção da
autonomia do aluno. Revista Educação, Humanidade e Ciências Sociais. Vol. 7 (13).
Janeiro/Junho de 2023. Disponível em:

<https://periodicos.educacaotransversal.com.br/index.php/rechso/article/view/92/95>

CECHIN, A.; BISPO, S. Q. A. A ascensão chinesa no setor aeroespacial. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, setembro de 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11488/1/TD_2795_Web.pdf

DE CARVALHO, R. S. O investimento na formação do cidadão do futuro: a aliança entre economia e educação infantil como estratégia da governamentalidade contemporânea. Educação em Revista, Belo Horizonte, v.32, n.02, p. 229-253, Abril-Junho 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/edur/a/J5hsXCwbDCKzxR5H4xGh7Qr/?lang=pt#>

DA COSTA, K. et al. Percepção do suporte familiar e desempenho em leitura e escrita de crianças do ensino fundamental. Revista psicopedagogia, vol. 33 nº. 101, São Paulo, 2016. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862016000200005

DE OLIVEIRA, A. C. A. A contribuição do Design Thinking na educação. Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial - ISSN - 1983-1838, [S. l.], p. 105–121, 2014. DOI: 10.18624/e-tech.v0i0.454. Disponível em: <https://etech.sc.senai.br/revista-cientifica/article/view/454>

DE MELLO, G. N. Políticas Públicas de Educação. Estudos avançados, v. 5, n. 13, dezembro de 1991. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/qMvZdTG5VK7NFPybfMcc77w/#>

DE REZENDE, M. A. V.; GARBI, G. P.; MARINHO, G. S. Despertando vocações em ciência e tecnologia espacial. Academia Roraimense de Ciências: Mens Agitat, v. 16, p. 64-73, 2021. Disponível em: <https://mensagitat.org/data/documents/MA-16-2021-64-73.pdf>

DIESEL, A.; SANTOS BALDEZ, A. L.; NEUMANN MARTINS, S. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. Revista Thema, Pelotas, v. 14, n. 1, p. 268–288, 2017. DOI: 10.15536/thema.14.2017.268-288.404. Disponível em:

<https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/404>.

DOMINGUEZ, C. et al. Pensamento crítico na educação: desafios atuais. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Portugal, Julho de 2015. Disponível em: <https://repositorio.utad.pt/server/api/core/bitstreams/deed2a67-33a4-4276-ae69-21972d63bca8/content>

DUCA, M. E. et al.. A criação de uma oficina pedagógica: uma didática transdisciplinar na educação aeroespacial. Anais VIII EPEPE. Campina Grande: Realize Editora, 2022. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/83458>.

ESLAM, A.; et al. An Analysis of Gamified Mobile Applications to Educate Children about Astronomy. IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Março/Maio de 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9766712>

ETZKOWITZ, H.; ZHOU, C. Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo. Estud. av. Vol. 31 (90). Maio/Agosto 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/4gMzWdcjVXCMp5XyNbGYDMQ/#>

FAHDIRAN, R.; SEREVINA, V.; PUTRA, A. V. M. The Effect of Active Learning in The Flipped Classroom Learning Model on 6th Grade Science Subjects of Elementary School. Journal of Physics: Conference Series, Volume 2309, The 4th International Conference on Research and Learning of Physics (ICRLP 2021), Padang, Indonesia. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2309/1/012072>

FARDO, M. L. A gamificação aplicada em ambientes de aprendizagem. Revista Novas Tecnologias na Educação, Porto Alegre, v. 11, n. 1, 2013. DOI: 10.22456/1679-1916.41629. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/41629>.

FERRARINI, R.; SAHEB, D.; TORRES, P. L. Metodologias ativas e tecnologias digitais: aproximações e distinções. Revista Educação em Qu

CÓDIGO: ET0026

AUTOR: LUANA GABRIELE FREIRE DO NASCIMENTO

ORIENTADOR: BISMARCK LUIZ SILVA

TÍTULO: Efeito da Prata na Solidificação e Dureza da liga Zn-8%Al-0,5%Ag

Resumo

Este trabalho teve como objetivo investigar os efeitos da adição de prata (0,5%Ag em massa) no processo de solidificação e nas características microestruturais e térmicas (velocidade de deslocamento da isoterma liquidus-VL e taxa de resfriamento- $\dot{T}$ L) da liga Zn-8%Al solidificada direcionalmente fora de equilíbrio termodinâmico. Foram realizados cálculos termodinâmicos, através do software Thermo-Calc, pelo método CALPHAD, a fim de obter o caminho de solidificação, fases e suas proporções. As amostras foram caracterizadas por Microscopia Óptica (MO), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), difração de raios-X (DRX) e fluorescência de raios-X (FRX). A macroestrutura exibiu um crescimento equiaxial para todo o comprimento do lingote, diferentemente da macroestrutura do tipo colunar obtida para a liga Zn-8%Al. De acordo com os cálculos termodinâmicos, forma-se núcleos da fase Al' (pró-monotética) em 414 °C, seguida pelo enriquecimento de um líquido L2 em Zn até a formação da matriz de Zn em 383 °C. Um amplo intervalo de solidificação entre as temperaturas de 383 °C até 276 °C é observado para a formação da fase AgZn, que se forma a partir de um líquido L3 rico em Zn e Ag. Finalmente, em 276 °C, a fase Al' se converte no eutético ternário Zn+Al+AgZn a partir de uma reação eutetóide complexa. As fases Al, Zn e AgZn foram identificadas. A Ag oscilou no intervalo estimado da composição nominal da liga, próximo de teores de 0,5%Ag.

Palavras-chave: Ligas de Zn-8%Al; Solidificação; Macroestrutura; Microestrutura

TITLE: Effect of Silver on the Solidification and Hardness of the Zn-8%Al-0.5%Ag Alloy

Abstract

This study aimed to investigate the effects of silver addition (0.5% Ag) on the solidification process and on the microstructural and thermal characteristics (liquidus isotherm growth rate – VL and cooling rate – $\dot{T}$ L) of the Zn-8%Al alloy directionally solidified under non-equilibrium thermodynamic conditions. Thermodynamic calculations were performed using Thermo-Calc software and the CALPHAD method to determine the solidification path, phases, and their proportions. The samples were characterized by Optical Microscopy (OM), Scanning Electron Microscopy (SEM), X-

ray Diffraction (XRD), and X-ray Fluorescence (XRF). The macrostructure exhibited equiaxed growth throughout the entire length of the ingot, differing from the columnar-type macrostructure obtained for the Zn-8%Al alloy. According to the thermodynamic calculations, nuclei of the Al' phase (pro-monotectic) form at 414 °C, followed by the enrichment of a Zn-rich liquid L2 until the formation of the Zn matrix at 383 °C. A wide solidification range is observed between 383 °C and 276 °C for the formation of the AgZn phase, which precipitates from a Zn- and Ag-rich L3 liquid. Finally, at 276 °C, the Al' phase transforms into the ternary eutectic Zn+Al+AgZn through a complex eutectoid reaction. The Al, Zn, and AgZn phases were identified. The Ag content remained within the expected range of the alloy's nominal composition, close to 0.5 %Ag.

Keywords: Zn-8wt.%Al Alloys; Solidification; Macrostructure; Microstructure.

Introdução

As ligas do sistema Zn-Al têm sido extensivamente estudadas por serem base de ligas comerciais denominadas ZA (Zinco-Alumínio), que podem possuir pequenas adições de cobre (0,8 a 3,0%) e magnésio (0,015 a 0,04%) em peso [1-4]. A liga à base de zinco é uma liga que contém percentual de Zn em maior quantidade. O Zn é um elemento metálico com número atômico 30 e massa atômica 65,4 que possui coloração branca azulada, que no estado puro se funde à temperatura de 419 °C. Quando na presença de umidade, forma uma capa superficial de óxido, que isola o metal e o protege da corrosão. Os minerais dos quais se extrai o zinco são a esfalerita e blenda (sulfetos), smithsonita (carbonato), hemimorfita (silicato) e franklinita (óxido), podendo ser extraído por hidro ou pirometalurgia [1]. As ligas Zn-Al apresentam boa resistência mecânica e dureza, sendo utilizadas para a fabricação de mancais devidos à sua boa resistência ao desgaste. Esta boa resistência ao desgaste é atribuída aos óxidos de alumínio e de zinco que se formam na superfície de desgaste. O óxido de alumínio é um composto mais duro em relação ao óxido de zinco cumprindo o papel de suportar as cargas, enquanto os óxidos de zinco agem como um lubrificante, porém com ação limitada e insuficiente [4]. Os limites de impurezas, por sua vez, são muito importantes quando o zinco é usado para fins de liga. Exceder os limites de impureza pode resultar em propriedades mecânicas, de desgaste e de corrosão inferiores ao estimado [1]. Dentre as características metalúrgicas mais relevantes dessas ligas, destaca-se o comportamento durante a solidificação, que influencia diretamente a morfologia final e a distribuição das fases no material. No sistema Zn-Al, a reação eutética ocorre a 381 °C para uma composição de 5,1% em massa de Al, sendo que o alumínio contribui para o refino dos grãos, aumento da fluidez do metal líquido e melhoria da resistência mecânica [5]. Em termos microestruturais, ligas Zn-Al hipoeutéticas solidificam com dendritas ricas em zinco (fase eta), enquanto as hipereutéticas apresentam dendritas ricas em alumínio (fase alpha;) e matriz de Zn, formando morfologias típicas dendríticas e eutéticas. A evolução das microestruturas em ligas Zn-Al está diretamente associada às condições de solidificação, que envolvem fenômenos de transferência simultânea de calor e massa, bem como da composição química [6]. Variáveis como taxa de resfriamento (T), velocidade de solidificação (V), gradiente térmico (G), grau de super-resfriamento constitucional (SRC), coeficiente de transferência de calor metal/molde (hi) e composição química inicial (C0) exercem papel fundamental na definição da

microestrutura bruta e, por consequência, das propriedades finais da liga [6,7]. Tais variáveis são críticas em praticamente quase todos os processos industriais de fabricação de peças metálicas. As investigações na literatura [6,7] em solidificação mostram que as variáveis térmicas (T , V , G , SRC), a variável composicional (C_0) e a variável interfacial (h_i) afetam fortemente o processo de solidificação, modificando morfologias de crescimento e formação microestrutural de produtos fundidos [6]. Considerado como um dos processos mais requeridos, a técnica de solidificação direcional tem sido amplamente utilizada em estudos de caracterização de macroestruturas, de microestruturas, de análise de segregação de solutos, de propriedades mecânicas e também do nível de eficiência térmica entre o molde e a liga metálica em análise [8-10]. Estes estudos são divididos em dois grupos: i) aqueles que tratam a solidificação em condições estacionárias de fluxo de calor; ii) e os que abordam a solidificação em regime transitório de fluxo de calor. No primeiro caso, o gradiente de temperatura (G) e a velocidade de solidificação da interface sólido-líquido (V) são controlados de forma independente e mantidos constantes durante todo o processo, como nos reportados em experimentos com a técnica Bridgman/Stockbarger [11-13].

Metodologia

A liga Zn-8%Al-0,5%Ag foi obtida a partir de um dispositivo de solidificação unidirecional vertical (DSDV) ascendente, amplamente utilizado e reportado na literatura especializada [16-18]. A liga Zn-8%Al-0,5%Ag foi fundida em um cadinho de carbetto de Si, inserido num forno de indução de características definidas (marca Yuelon modelo MF-35), com temperatura de trabalho de até 1200 °C. Após a fusão, a liga foi vertida dentro da lingoteira, acoplada ao DSDV através de uma chapa-molde de aço AISI 1020, com posterior solidificação natural. Em seguida, o sistema de aquecimento do forno de solidificação direcional foi acionado e a liga refundida dentro do dispositivo. Quando a temperatura atingiu um superaquecimento de 10 a 15% acima da temperatura liquidus-TL da liga, a solidificação direcional foi iniciada através do acionamento de um jato de água na parte inferior da chapa-molde. Desse modo, a solidificação se desenvolveu de forma vertical, de baixo para cima. Uma série de termopares (marca ECIL modelo tipo J) acoplada em diferentes posições ao longo da lingoteira foi utilizada para análise da evolução térmica durante o processo. Os dados que foram coletados pelos termopares foram armazenados em um computador para posterior utilização no levantamento das variáveis térmicas de solidificação, como a velocidade de avanço da isoterma liquidus (V_L) e a taxa de resfriamento ($\dot{T}_L$). Uma vez concluído o processo, extraiu-se o lingote da lingoteira para caracterização macroestrutural e microestrutural subsequentes. A Figura 1 exemplifica a metodologia de extração de amostras conforme definida. Para a técnica de caracterização macroestrutural, foi feito um corte na direção longitudinal do tarugo obtido (como visto na Figura 1, etapa 1), visando a obtenção de uma superfície regular para a etapa de lixamento. Sendo assim, o lingote foi seccionado através de uma serra fita (modelo FM-500). Em seguida, a parte do lingote que foi escolhida para revelação da macroestrutura foi lixada com lixas de granulometria 80, 120, 180, 240, 320, 400 e 600 mesh. Logo após, a superfície lixada foi atacada quimicamente utilizando-se uma solução aquosa do reagente nital (solução de ácido nítrico e álcool), com concentração de ácido nítrico de 5%. O ataque foi realizado na superfície da amostra por repetidas vezes com algodão embebido neste reagente químico até a obtenção de uma macroestrutura de qualidade.

Por fim, a macroestrutura foi lavada em água corrente, secada utilizando-se de um secador e o resultado da revelação foi registrado através de uma câmera fotográfica. As amostras para caracterização das microestruturas transversais foram identificadas através da medição realizada com auxílio de um paquímetro, tendo como referência e ponto zero a base do lingote, isto é, a posição foi medida em relação à interface metal/molde. Uma vez feita a marcação, amostras relativas às posições 5 mm, 30 mm, 50 mm, 70 mm e 90 mm a partir da interface metal/molde foram extraídas da parte do tarugo anteriormente utilizada para caracterização microestrutural. Em seguida, as amostras foram lixadas sequencialmente por lixas de granulometria 150, 240, 320, 400, 600, 1200, 1500, 2000 e 2500 mesh de maneira manual e refrigeradas com água. As amostras depois de lixadas e limpas, foram polidas manualmente com auxílio de uma politriz lixadeira metalográfica dupla (modelo PLF D da FORTEL), utilizando uma suspensão metalográfica de alumina (granulometria 1 μm , da marca Arotec) e água. A revelação das microestruturas da liga produzida, por sua vez, foi feita mediante imersão das amostras extraídas das posições anteriormente definidas em uma solução química de nital 2% por um tempo de aproximadamente 5 segundos. O registro das imagens das microestruturas foi realizado através de um microscópio óptico (marca Nikon modelo Eclipse MA2000) disponível no Laboratório Institucional de Microscopia Eletrônica (LIME-DEMat-UFRN). As análises de Difração de Raios-X (DRX) foram realizadas em amostras retiradas de posições específicas ao longo do lingote Zn-8%Al-0,5%Ag solidificado direcionalmente, a fim de identificar as fases presentes em cada posição. O equipamento utilizado é da marca Shimadzu, equipado com tubo de radiação de cobre (Cu), cuja radiação característica $K\alpha$ possui comprimento de onda de 0,154 nm (1,54 Å). Para determinar a variação do teor Ag na liga Zn-8%Al-0,5%Ag, análises de Fluorescência de Raios-X (FRX) foram realizadas nas posições transversais (5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm e 90 mm a partir da interface metal/molde) no equipamento da marca Shimadzu modelo EX-720, disponibilizado no LIME/UFRN. As simulações termodinâmicas foram realizadas pelo método CALPHAD através do software Thermo-calc com o intuito de extrair informações como diagramas de fases, de modo que é possível observar a predominância de cada fase formada durante o processo de solidificação em equilíbrio, considerando as composições químicas selecionadas. Para isso, contou-se com o apoio do Grupo de Pesquisa “Microestruturas e Propriedades em Processos de Solidificação” (M2PS), do Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar, coordenado pelo prof. Dr. José Eduardo Spinelli.

Resultados e Discussões

A Figura 2 mostra um corte isoplético para a liga Zn-8%Al-0,5%Ag obtido pelo software Thermo-Calc para condições de equilíbrio termodinâmico. A linha preta tracejada no diagrama indica o teor de Ag (0,5% em massa de Ag) relativo à composição da liga em estudo. Observa-se pelo diagrama que a temperatura liquidus para a composição com 0,5%Ag é de 414 °C. Logo abaixo da temperatura liquidus, a fase Al' pró-monotética começa a se formar, com surgimento e crescimento dos núcleos de Al' de acordo com o resfriamento da liga. Com a continuidade da solidificação, ao atingir a temperatura de 383 °C inicia-se a formação da fase rica em Zn e enriquecimento do teor de Ag no líquido remanescente, com presença simultânea das fases Al' + Zn + líquido'. Estudos anteriores, como os de Septimio et al. [20] e

Medeiros et al. [4], avaliaram a influência de um terceiro elemento de liga, como bismuto (Bi) e cobre (Cu), sobre a liga base Zn-8%Al. De forma semelhante ao observado com Bi e Cu, a adição de prata promoveu um pequeno aumento da temperatura líquidus de aproximadamente 409 °C para 414 °C. As demais temperaturas de transformação, por outro lado, como a temperatura de transformação eutetóide (276 °C) e de precipitação da fase rica em Zn (383 °C), mantiveram-se praticamente inalteradas comparadas àquelas obtidas para o sistema Zn-8%Al. Esse comportamento evidencia que pequenas adições de Ag, como a adição de 0,5%Ag, não alteram significativamente a temperaturas líquidus da liga hipereutética Zn-8%Al, mas podem contribuir para a formação de novas fases, como no caso da fase AgZn. A Tabela 1 exibe um resumo das reações e temperaturas de transformação que podem ser visualizadas na Figura 2. A Figura 3 exibe a variação da temperatura (°C) em função do tempo (s) para cada termopar acoplado na lingoteira, correspondente à liga Zn-8%Al-0,5%Ag. Observa-se que as maiores variações de temperatura no tempo ocorrem para as posições mais próximas da interface metal/molde. Este comportamento decorre da proximidade com a chapa-molde, que atua como principal fonte de extração de calor durante o processo de solidificação direcional. A diferença nas taxas de resfriamento ao longo das posições promove variações microestruturais e influenciam a formação e distribuição das fases metálicas, como Al₃Zn e AgZn, durante o processo de solidificação. A Figura 4 exibe a relação entre os tempos locais de passagem da isoterma líquidus (tL) em cada posição (P) ao longo do lingote Zn-8%Al-0,5%Ag. Os tempos locais exibidos são dados importantes para mapear o comportamento dessa relação correspondente entre a posição de fixação dos termopares com os relativos tempos de passagem, de acordo com a liga Zn-8%Al-0,5%Ag analisada. Uma equação experimental obtida por Septimio et al. [20] para a liga Zn-8%Al foi inserida para demonstrar e comparar com os tempos locais obtidos por este estudo. É possível observar-se na Figura 4 que menores tempos locais são obtidos para a liga com 0,5%Ag, muito em razão de que menores velocidades de avanço da isoterma líquidus proporcionam menores intervalos de variação no movimento da frente de solidificação, que é dependente desses tempos locais. Tal fenômeno tende a fazer com que a curva da liga Zn-8%Al-0,5%Ag possua um raio de inclinação menor quando comparado com a curva da liga Zn-8%Al. A Figura 5 apresenta uma relação entre a variação da velocidade da isoterma líquidus (VL) com a posição (P). Verifica-se que VL diminui à medida que se afasta da interface metal/molde, o que está associado com o aumento da dificuldade de movimentação da frente de solidificação durante a solidificação direcional. O intervalo de VL nas posições analisadas do lingote variou de 0,63 mm/s (P = 05 mm) para 0,4 mm/s (P = 90 mm) a partir da interface metal/molde. A Figura 5 apresenta também a relação da variável citada anteriormente para a liga hipereutética Zn-8%Al obtida por Septimio et al. [20]. Observa-se um comportamento comum e habitual para as ligas até a posição de 35 mm a partir da interface metal-molde, onde menores valores de VL para a liga ternária podem ser visualizados. Uma mudança de caráter pode ser discutida com a inversão de posição das curvas a partir da posição 35 mm. O motivo da mudança pode estar associado ao intervalo de solidificação mais amplo apresentado através do corte isoplético da liga Zn-8%Al-0,5%Ag, que exibe uma formação de fases monotética e, portanto, com estrutura mais complexa. Os valores das variáveis térmicas do sistema Zn-8%Al relativamente à VL foram investigados anteriormente por Septimio et al. [20] e Medeiros et al. [4]. A tendência de redução da velocidade é consistente com o comportamento esperado em solidificação unidirecional, onde há perda gradual de calor ao longo do comprimento do lingote. Comparando com

os resultados da literatura, Septimio et al. [20] observaram, para a liga Zn-8%Al, uma variação de VL entre 2,3 mm/s (início do lingote) e aproximadamente 0,2 mm/s (final), enquanto Medeiros et al. [4] relataram uma redução da VL com o aumento do teor de Cu, apresentando valores de até 1,99 mm/s (0,3%Cu) e 1,76 mm/s (1,3%Cu). Esses dados mostram que a adição de elementos de liga, como Ag (neste estudo) ou Cu (nos estudos anteriores), tende a diminuir a velocidade da isoterma liquidus, o que pode estar relacionado à alteração das propriedades térmicas da liga e à maior resistência à movimentação da frente de solidificação ao longo do lingote. A Figura 6 exibe a variação das taxas de resfriamento ($\dot{T}_L$) em função da posição (P) ao longo do lingote Zn-8%Al-0,5%Ag. Nota-se que maiores valores de taxas de resfriamento são observados para as posições próximas à interface metal/molde, com uma redução gradual para as últimas posições. Essa diferença está no fato de que nas posições próximas da interface metal/molde, tem-se uma maior extração de calor através do acionamento do sistema de refrigeração à água na chapa-molde. A taxa de resfriamento para a liga Zn-8%Al-0,5%Ag variou de 9,4 °C/s a 0,44 °C/s, respectivamente, para as posições 05 mm e 90 mm a partir da interface metal/molde. Septimio et al. [20] obtiveram valores de $\dot{T}_L$ que variaram de 30 °C/s (05 mm) até 0,015 °C/s (90 mm). Medeiros et al. [4], por sua vez, observaram valores de $\dot{T}_L$ que aumentaram de acordo com a elevação do teor de Cu, partindo de aproximadamente 27 °C/s (05 mm, 0,3%Cu) para 37,5°C/s (05 mm, 1,3%Cu). Os autores observaram que não há variações significativas para as posições finais do lingote nos valores de $\dot{T}_L$, a exemplo do que também ocorreu na presente investigação. A Figura 7 mostra a macroestrutura do lingote Zn-8%Al-0,5%Ag. Observa-se um crescimento equiaxial desde a base do lingote até o topo. Estudos anteriores indicam que o aumento do teor de prata (Ag) em ligas à base de zinco promove o refinamento de grãos e atua contra o crescimento de grãos colunares. Em particular, López-Parra et al. [21] evidenciaram que a adição de Ag favorece a formação da fase intermetálica $AgZn_3$, que serve como centro de nucleação e suprime explicitamente a estrutura colunar em ligas Zn-Al-Ag. A Figura 8 apresenta o teor de soluto de Ag na liga estudada. Nota-se que o teor de Ag permaneceu constante e compatível com a proporção nominal de 0,5 % em massa, indicando a ausência de macrossegregação significativa. A presença de Ag é particularmente importante, pois sua adição está relacionada a modificações na microestrutura da liga, como o refinamento de grãos e a formação de fases intermetálicas, que podem influenciar diretamente nas propriedades mecânicas e térmicas do material [10]. Estudos prévios com ligas contendo prata mostram comportamentos distintos quanto à macrossegregação desse elemento. Em ligas do sistema Zn-Ag, Dias Filho [22] observou variações na concentração de Ag ao longo do lingote para composições hipoperitéticas e hiperperitéticas, indicando a ocorrência de macrossegregação em diferentes regiões do material solidificado de cada liga. De modo semelhante, Duarte [23], ao estudar ligas Al-Ag, identificou que o teor de Ag variou ao longo do comprimento dos lingotes, mesmo sob condições controladas de solidificação unidirecional, o que também caracteriza macrossegregação. Esses resultados reforçam a importância de se avaliar a distribuição do soluto, uma vez que perfis não homogêneos podem comprometer o desempenho mecânico e térmico dos materiais. A ausência de macrossegregação na liga Zn-8%Al-0,5%Ag analisada, representa um comportamento microestrutural desejável, destacando uma distribuição homogênea do soluto quando comparada a outras ligas do sistema Zn ou Al. A Figura 9 apresenta os difratogramas de raios X da liga Zn-8%Al-0,5%Ag obtidos em diferentes posições ao longo do lingote, variando de 5 mm a 90 mm a partir da interface metal/molde. É possível identificar

picos característicos das fases presentes na liga, sendo elas as fases contendo Zn, Al e AgZn. Observa-se que os picos associados às fases Al (o) e Zn ($\diamond$) estão presentes em todas as amostras analisadas e são os mais intensos, o que é compatível com suas maiores concentrações na composição da liga. A fase AgZn (Δ), por sua vez, aparece com menor intensidade relativa mesmo em baixa concentração de Ag, porém é detectável em todas as posições, evidenciando que a prata se combinou preferencialmente com o zinco durante a solidificação, formando um composto intermetálico. Observa-se que os picos associados à fase de Zn são os mais intensos, o que comprova que a maior quantidade do elemento metálico presente é zinco na composição da liga. Durante o resfriamento, a solidificação inicial favorece a precipitação da fase rica em Al' (fase primária), no fim, se transforma em Al e Zn em 276 °C juntamente com o composto intermetálico AgZn. O AgZn surge principalmente nas regiões onde a prata e o zinco se encontram em maior proporção. A presença desse composto intermetálico, mesmo em pequena quantidade, sugere que a adição de prata promove a formação de fases secundárias específicas, perceptíveis pela separação dos picos no difratograma. A variação na intensidade e na nitidez desses picos ao longo das diferentes posições analisadas também está associada às mudanças na taxa de resfriamento, influenciando diretamente o tamanho de grão, a segregação de elementos e a predominância de determinadas fases cristalinas. A Figura 10 mostra as microestruturas obtidas por microscópio óptico (MO) para as posições 05 mm, 30 mm, 70 mm e 90 mm na seção transversal a partir da interface metal/molde. Observa-se um arranjo dendrítico da fase Al (regiões escuras), Zn (região clara), com as dendritas de Al cercadas de uma mistura de fases resultante da transformação eutetóide e matriz de Zn, com disposição das fases Al, Zn e AgZn. Estudos como os de Septimio et al. [20] e Medeiros et al. [4] demonstram que a presença de um terceiro elemento na liga Zn–Al, especialmente em ligas hipereutéticas, influencia significativamente a morfologia e a distribuição das fases. A adição de elementos como Ag, Cu ou Mg tende a promover refinamento microestrutural ou modificações no tipo de crescimento dendrítico, afetando o tamanho dos grãos, a segregação das fases secundárias e a resposta mecânica do material. Tais mudanças são atribuídas à alteração na nucleação e na cinética de crescimento das fases durante a solidificação. A Figura 11 exibe microestruturas obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para as posições 05 mm, 50 mm e 90 mm a partir da interface metal/molde. Nas microestruturas da posição 50 mm (Figura 11 c e d) estão indicadas as fases de Zn (regiões mais claras), as dendritas ricas em Al (regiões escuras), e as regiões eutéticas e monotéticas que apresentam fases Zn + Al + AgZn nas fronteiras dendríticas. É possível observar uma evolução microestrutural significativa ao longo do lingote. Nas imagens correspondentes à posição de 05 mm, próximas à interface, nota-se uma microestrutura com dendritas finas, resultantes de uma taxa de resfriamento mais elevada, a solidificação ocorre rapidamente, o que limita o crescimento das fases. À medida que se avança para a posição de 50 mm, a morfologia evidencia mais fases, com crescimento mais desenvolvido das fases primárias, incluindo dendritas de alumínio mais longas e maior evidência da presença das fases Zn e AgZn. Essas características indicam uma redução na taxa de resfriamento, permitindo maior tempo para difusão e segregação dos elementos. Por fim, nas imagens obtidas a 90 mm, observa-se um crescimento ainda mais acentuado das dendritas de alumínio, com separação clara entre as regiões ricas em Zn, Al e AgZn. A presença dessas fases é devido a solidificação mais lenta nas regiões superiores do lingote. Observa-se dendritas bem definidas e regiões interdendríticas ocupadas por uma mistura de fases. As dendritas de Al apresentam um crescimento orientado, enquanto as

regiões claras indicam a presença predominante de Zn. A formação das fases intermetálicas ocorre preferencialmente entre as dendritas, sugerindo segregação durante a solidificação e uma notável influência da adição de prata na morfologia dessas fases, principalmente quando se compara com as morfologias observadas pelos estudos de Septimio et al. [20]. Dessa forma, ao comparar os resultados obtidos neste trabalho com o trabalho de Septimio [3] é possível observar que a adição de 0,5% de prata à liga Zn-8%Al promoveu mudanças significativas na morfologia macroestrutural e microestrutural da liga. O trabalho de Septimio [3] avaliou a liga Zn-8%Al sob solidificação unidirecional e identificou a formação de uma macroestrutura predominantemente colunar dendrítica ao longo do comprimento do lingote. Tal morfologia foi associada às condições térmicas impostas durante o processo de solidificação, especialmente ao alto gradiente térmico presente próximo à interface metal/molde, que favorece o crescimento direcional de cristais [3]. No presente estudo, entretanto, a adição de 0,5% de prata (Ag) à liga Zn-8%Al promoveu a formação de uma macroestrutura equiaxial dendrítica em todo o lingote, sugerindo uma alteração significativa no mecanismo de nucleação e crescimento. Essa mudança morfológica pode ser atribuída à presença da prata no caminho de solidificação e à formação da fase intermetálica AgZn, que, conforme identificado por difração de raios X (DRX), pode ter contribuído para a geração de sítios adicionais de nucleação heterogênea. Assim, os resultados sugerem que a adição de Ag não apenas altera as transformações de fase, mas também modifica as características macroestrutural e microestruturais da liga, favorecendo uma solidificação.

Conclusão

A partir dos dados experimentais coletados durante a investigação e desenvolvimento deste trabalho, pode-se citar algumas conclusões: • A adição de 0,5% de prata à liga Zn-8%Al reduziu a taxa de resfriamento e a velocidade de solidificação em comparação com a liga binária Zn-Al; • A solidificação seguiu a sequência de formação das fases Al', Zn e AgZn; • A macroestrutura apresentou crescimento equiaxial, com efeito determinante da Ag como refinador e retardante do crescimento colunar; • As microestruturas revelaram dendritas de Al envoltas por matriz rica em Zn, com regiões eutéticas e monotéticas; • O teor de Ag permaneceu em torno de 0,5% em massa e dentro da composição nominal. Mesmo com este teor, a Ag contribuiu para a formação da fase AgZn.

Referências

- [1]. BARBOSA, R. J. Metais não ferrosos e suas ligas: Microestrutura, propriedades e aplicações, 1ª edição, editora e-papers, 2014, 532 p. [2]. BARNHURST, R. J. Zinc and Zinc alloys. ASM Properties and Selection: Nonferrous alloys and special-purpose, v. 2, p. 1589-1618, 1990. [3]. SEPTIMIO, R. S. Estudos das ligas dos sistemas Bi-Zn e Zn-Al-Bi para aplicações tecnológicas. 2019. 303 p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas-SP. [4]. MEDEIROS, M. D. Solidificação direcional e Resistência ao Desgaste de ligas Zn-8%Al-x%Cu. 2020. 101 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio

Grande do Norte, Programa de Ciência e Engenharia de Materiais, Natal-RN. [5]. PRASAD, B. K. Effect of microstructure on the sliding wear performance of a Zn-Al-Ni alloy. *Wear*. v. 240, p. 100-112, 2000. [6]. GARCIA, A. Solidificação: Fundamentos e Aplicações. 2ª edição. Campinas: Editora da Unicamp, 2007, 399 p. [7]. FLEMINGS, M. C. Solidification processing. New York: McGraw-Hill, 1974. [8]. BRITO, C.C. Parâmetros térmicos e microestruturais na Solidificação Transitória de ligas Al-Mg e AlMg-Si e Correlação com Resistências Mecânicas e à Corrosão. 2016. 205 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2016. [9]. COSTA, T.A.P.S. Microestruturas de Solidificação e Resistência ao Desgaste de Ligas Monotéticas Al-Bi-Sn. 2016. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2016. [10]. FILHO, J.M.S.D. Solidificação Transitória e Permanente de Ligas Monofásicas e Peritética Sn-Sb e Sn-Sb- (Ag; Cu): Evolução Microestrutural, Molhabilidade e Propriedades Mecânicas. 2016. 149 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2016. [11]. MERTINGER, V. et al. Gravity influenced convection in Al-Ni melt. *Materials Science Forum*, v. 215-216, p. 331-338, 1996. [12]. JONES, H. Some effects of solidification kinetics on microstructure formation in aluminium base alloys. *Materials Science and Engineering A*, v. 413-414, p.165-173, 2005. [13]. GRUGEL, R. N. Secondary and tertiary dendrite arm spacing relationships in directionally solidified Al-Si alloys. *Journal of Materials Science*, v. 28, p. 677-683, 1993. [14]. KURZ, W.; FISHER D.J. Fundamentals of Solidification, 4th edition. Trans Tech Publications Ltd, 1981, 304 p. [15]. CALLISTER, W. D., & Rethwisch, D. G. (2016). Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais (9ª ed.). LTC. p. 375-396. [16]. SILVA, B. et al. Effects of solidification thermal parameters on microstructure and mechanical properties of Sn-Bi solder alloys. *Journal of Electronic Materials*, v. 46, p. 1754-1769, 2017. [17]. REYES, R. V. et al. Tensile properties and related microstructural aspects of hypereutectic Al-Si alloys directionally solidified under different melt superheats and transient heat flow conditions. *Materials Science & Engineering. A, Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing*, v. 685, p. 235-243, 2017. [18]. DONADONI, B. M. C. et al. Tailoring of microstructures and tensile properties in solidification of Al-11Si-(xCu) brazing alloys. *Metals*, v. 8, p. 1-23, 2018. [19] SOUSA, Raí Batista de. Microestrutura, Parâmetros Térmicos e Citotoxicidade da Liga Hipoeutética Sn-2,0%Ag Modificada com 0,2%Ni. p. 42, 2022. [20] SEPTIMIO, Rudimylla S. et al. Correlation between unsteady-state solidification thermal parameters and microstructural growth of Zn-8 mass% Al and Zn-8 mass% Al-X Bi tribological alloys. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 139, p. 1741-1761, 2020. [21] BELTRÁN-GONZÁLEZ, J., de la Torre, GC, Ruiz, A. et al. Avaliação Microestrutural de uma Liga Zn-Al-Ag. *MRS Avanços* 3 , 3621-3627 (2018). <https://doi.org/10.1557/adv.2018.662>. [22] DIAS FILHO, José Marcelino da Silva. Análises térmica e microestrutural na solidificação de ligas monofásica e peritéticas do sistema Zn-Ag. 2013. Dissertação de Engenharia Mecânica (UEC). [23] DUARTE, Roberto Nunes. Solidificação unidirecional transitória, microestrutura e propriedades termofísicas e mecânicas de ligas Al-Ag-(Cu). 2016. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica (UEC).

CÓDIGO: ET0041

AUTOR: LETICIA FERNANDES GOMES

ORIENTADOR: NATHALIA SARAIVA RIOS

TÍTULO: Imobilização de proteases em suporte nanoestruturado tipo SBA-15 visando a produção de biocatalisadores ativos e estáveis

Resumo

As enzimas são catalisadores biológicos, produzidas por organismos vivos. No entanto, devido à sua fragilidade e à dificuldade de reutilização foram criados mecanismos para as tornar mais estáveis, como por exemplo a imobilização em suportes mesoporosos. A atual pesquisa utilizou dessa técnica para proporcionar um maior tempo útil de vida as proteases. Para isso foram escolhidas as proteases de *Bacillus licheniformis* e *Bacillus amyloliquefaciens*. A atividade enzimática foi medida usando uma solução de azocaseína 0,5 % (m/v). A concentração proteica foi dada com base na proteína BSA. Já a síntese do SBA-15 foi levada em consideração o mecanismo de síntese hidrotérmica. E, como forma de evitar a autocatálise enzimática, sucederam-se uma sequência de análises para se testar a melhor faixa de diluição, isto é, a diluição ótima de cada enzima. A protease *Bacillus licheniformis* teve atividade de 7774,67 U/mL, com concentração proteica de 19,54 mg/mL e diluição ótima na faixa dos 2800. Já para a protease *Bacillus amyloliquefaciens*, a sua atividade enzimática foi de 11265,0 U/mL, com concentração de 14 mg/mL e diluição ótima de 3000. Foram sintetizados 2,4753 g de suporte SBA-15, apresentando coloração esbranquiçada. E esses resultados comprovam a característica promissora da pesquisa bem como confirma as chances da futura imobilização dessas respectivas enzimas.

Palavras-chave: Biocatalisadores; proteases; imobilização; suportes mesoporosos.

TITLE: Immobilization of proteases on nanostructured support type SBA-15 aiming at the production of active and stable biocatalysts

Abstract

Enzymes are biological catalysts, produced by living organisms. However, due to their fragility and the difficulty of reuse, mechanisms were created to make them more stable, such as immobilization on mesoporous supports. The current research used this technique to provide a longer lifespan for proteases. For this purpose, the proteases of *Bacillus licheniformis* and *Bacillus amyloliquefaciens* were chosen. Enzyme activity was measured using a 0.5 % (w/v) azocasein solution. The protein concentration was given based on the BSA protein. The synthesis of SBA-15 was taken into account the hydrothermal synthesis mechanism. And, as a way to avoid enzymatic autocatalysis, a sequence of analyses followed to test the best dilution range, that is, the optimal dilution of each enzyme. The protease *Bacillus licheniformis* had an activity of 7774.67 U/mL, with a protein concentration of 19.54 mg/mL and optimal dilution in the range of 2800. For the protease *Bacillus amyloliquefaciens*, its enzymatic activity was 11265.0 U/mL, with a concentration of 14 mg/mL and an optimal dilution of 3000. A total of 2.4753 g of SBA-15 support was synthesized, showing whitish coloration. And these results prove the promising characteristic of the research as well as confirm the chances of future immobilization of these respective enzymes.

Keywords: Biocatalysts; Proteases; immobilization; mesoporous supports.

Introdução

As enzimas biocatalisadoras são catalisadores biológicos, naturais, produzidos por organismos vivos e estão sendo cada vez mais aplicadas no ramo industrial (Ribeiro et al., 2016). As principais enzimas manuseadas em ambiente fabril são as lipases, celulasas e proteases, sendo esta última responsável, principalmente, pela hidrólise de proteínas, como as presente no soro do leite. No entanto, mesmo favorecendo determinadas atividades químicas, pontos como instabilidade estrutural e baixa vida útil, ainda representam barreiras significativas para a sua ampla popularização nos diversos eixos produtivos (Souza et al., 2017).

Dentre os estudos científicos da área, uma das formas encontradas para reverter tal quadro instável das enzimas, foi por meio da técnica de imobilização (Karimi et al., 2014). A imobilização é um tipo de mecanismo no qual retém uma determinada biomolécula no interior de um reator. Tal procedimento também se aplica em enzimas, mudando somente a forma em que ocorre o confinamento, já que, nesses casos, usa-se um suporte sólido insolúvel (Cipolatti et al., 2023). Essa retenção acaba por promover nessas enzimas uma maior estabilidade e resistência a mudanças do ambiente.

Para se ter uma imobilização eficiente, tem que antes determinar os melhores meios, materiais a serem usados, sendo um deles o tipo de suporte. O suporte funciona como uma “armadura” que mantém a enzima em contato com o meio reacional, de forma mais protegida e resistente ao ponto de conseguir ser reutilizada logo após a operação (Pinheiro et al., 2019). Entre os suportes disponíveis, destacam-se os materiais mesoporosos. Tais materiais nanoestruturados por terem maior quantidade de poros presente na sua estrutura, ampliam a área de contato entre suporte-enzima, favorecendo a imobilização do composto (Yiu, H. HP.; Wright, P. A.; Botting, N.P., 2001).

Portanto, o presente estudo teve como intuito avaliar as condições do extrato das enzimas proteolíticas bem como a síntese de suportes mesoporosos para posterior imobilização.

Ademais, como forma de evitar o processo de autólise das proteases analisadas, foram sucedidas análises em diferentes faixas de diluição. O motivo de ser preciso a ocorrência desse estudo, foi devido as proteases quando muito concentradas, não operam de maneira adequada e tendem a se autodegradar com o tempo de atividade (Yiu, H. HP.; Wright, P. A.; Botting, N.P., 2001). Por isso, o acompanhamento da atividade enzimática ao longo das diluições, foi uma das formas encontradas para se ter a diluição ótima de cada enzima, garantindo maior estabilidade e desempenho durante os ensaios.

Metodologia

1.1. ENZIMAS

As enzimas utilizadas foram protease de *Bacillus licheniformis* e protease de *Bacillus amyloliquefaciens*, sendo fornecidas pela Sigma-aldrich.

1.2. MEDIDAS DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA

A atividade teve como base a metodologia ilustrada por Charney; Tomarelli (1947), sendo as proteases solúveis medidas usando como substrato a azocaseína 0,5 % (m/v) em tampão acetato de sódio pH 5,0 (50 mM). No procedimento, 0,25 mL de substrato foram misturados com 0,25 mL da amostra da enzima solúvel, sendo colocado 0,25 mL de ácido tricloroacético 15 % (m/v) na solução branco de controle. Foram levadas essas soluções para o banho maria à 32°C por 40 minutos. Após esse tempo, adicionou-se nas demais amostras, 0,25 mL de ácido tricloroacético 15 % (m/v) para permitir a precipitação das moléculas de proteínas não hidrolisadas pela enzima. Logo após a essa adição, foram centrifugadas as amostras por 15 minutos à 3000 rpm. Posteriormente, coletou-se cerca de 0,5 mL do sobrenadante de cada solução para pôr em contato com 1 mL de KOH 5N, sendo levados para a leitura da absorbância da amostra em um espectrofotômetro à 428 nm.

O cálculo da atividade da protease será dado pela seguinte fórmula:

$$\text{Ativ (U/ mL)} = ((\text{ABS amostra} - \text{ABS branco}) * \text{Diluição}) / (0,01 * \text{delta T} * \text{V amostra})$$

sendo,

- Ativ (U/mL): atividade enzimática;
- ABS amostra: absorbância da amostra;
- ABS branco: absorbância do branco;
- Diluição: diluição usada para essa medição;
- Delta T: tempo de reação;
- V amostra: volume da amostra.

1.3. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DAS PROTEÍNAS

A concentração da proteína foi dada tendo como modelo a metodologia escrita por Bradford (1976), sendo determinada antes e após o processo de imobilização. Tais resultados obtidos foram expostos em uma curva de calibração, tendo como base a proteína do soro bovino (BSA).

1.4. SÍNTESE DO SUPORTE

As sílicas mesoporosas do tipo SBA-15 foram sintetizadas, tendo como ideia a proposta de Cipolatti et al. (2023). Para isso, necessitou de cerca de 4,56 g de Plurônico (P123) em 160 mL de solução HCl 1,3 M, seguida de uma dissolução de 0,052 g de fluoreto de amônio (NF). Posteriormente, foi deixado o frasco com esses reagentes agitando por cerca de 1 hora.

Assim, adicionou-se 9,76 g de tetraetoxissilano (TEOS) gota a gota, na velocidade de 1 gota/segundo, como forma de evitar a formação de vórtice. Depois, foi deixado a mistura sob agitação por 24h, sendo, logo em seguida, transferida para uma autoclave de teflon para posterior reação quente na estufa a 100°C por 48 horas. O sólido foi filtrado, lavado com água destilada e seco por 24 horas. Por último, tal composto foi calcinado a 550°C, sendo o suporte, após resfriado a temperatura ambiente, armazenado em um dessecador.

Resultados e Discussões

1.1. ATIVIDADES PRELIMINARES: ANTES DA IMOBILIZAÇÃO

Antes de realizar a imobilização, é necessário suceder uma coleta de dados sobre as proteases que serão analisadas bem como sintetizar o suporte para o seu posterior estudo. Dessa forma, os tópicos a seguir irão expor as características das enzimas na forma livre e sobre os parâmetros encontrados durante a síntese do suporte mesoporoso.

1.1.1. CONCENTRAÇÃO PROTEICA

A concentração proteica foi um dos primeiros parâmetros que foi determinado nas análises. Um dos motivos para isso, foi devido muitos dos processos que antecedem a imobilização dependerem da quantificação da carga proteica, além da eficiência dessa operação bioquímica precisar da concentração antes e após evento realizado. Tal mecanismo verificou o quanto de protease estava presente no meio líquido, sendo determinado pelo ensaio de Bradford e espectrofotometria UV- visível.

Como forma de se obter os valores da carga proteica, foi sucedido o ensaio em várias faixas de diluições com o tampão acetato de sódio 50mM, sendo posteriormente moldado uma curva (Figuras 1 e 2) para melhor estudo.

A protease *Bacillus licheniformis* teve a sua concentração estabilizada no intervalo de 250- 300 de diluição, enquanto a *Bacillus amyloliquefaciens* ficou na faixa de 120-160. Por meio disso, ao ser efetuado uma média entre os valores das concentrações desses intervalos, encontrou um total de carga proteica de 19,54 m/mL e 14 mg/mL para a primeira e segunda protease, respectivamente.

De modo geral, proteases preparadas em estado concentrado ou purificado apresentam concentrações entre 10 e 30 mg/mL, podendo ultrapassar 50 mg/mL em formulações industriais (Emran et al., 2020; Sarker et al., 2013; Guleria et al., 2016; Sigma-Aldrich, 2024). Ou seja, as taxas encontradas neste estudo foram consideradas positivas, já que estão dentro da faixa descrita na literatura. Ademais, tais resultados reforçam o potencial das enzimas para aplicações posteriores em mecanismos de imobilização, auxiliando para os próximos ensaios experimentais.

1.1.2. SÍNTESE DO SUPORTE

A síntese do suporte passou por diversas etapas, cada um com características distintas.

Na primeira vez em que foi sintetizado o suporte, logo após a adição do tetraetoxissilano (TEOS) à solução, foi obtido um sistema bastante viscoso. De acordo com os dados da literatura, viu que esse padrão é comum durante a produção do SBA-15, não sendo assim, um fator ruim (Yiu, H. HP.; Wright, P. A.; Botting, N.P., 2001).

O único resultado inesperado foi a presença da coloração laranja-amarelada em algumas porções do pó do suporte após 48h na autoclave de teflon a 100°C (Figura 3). De acordo com a pesquisa de Souza et al. (2017), essa coloração pode indicar a presença de resíduos químicos indesejados, nos quais terão a chance de interferir negativamente na atividade enzimática. No entanto, ao ser calcinado o pó do SBA-15 (Santa Barbara Amorphous-15), a cor foi completamente eliminada, resultando em uma massa branca como esperado. Ao ser pesado essa massa do suporte produzido, visualizou-se que foi adquirido cerca de 1,1709 g.

Na segunda vez que o suporte foi sintetizado, a massa após a mistura ficou muito espessa e endurecida, sinal de que o TEOS foi colocado de maneira errada. Apesar dessa dificuldade inicial, ao final de todas as etapas, o material obteve coloração branca, um indicativo positivo e, confirmando, ser possível de utilização para futuras análises. A massa obtida para esse procedimento foi de 1,3044 g.

Ou seja, foi sintetizado cerca de 2,4753 g de suporte mesoporoso, sendo posteriormente enviado para análises de BET e MEV, como forma de se verificar os parâmetros texturais e morfológicos, respectivamente.

1.1.3. ATIVIDADE PROTEOLÍTICA

As proteases quando muito concentradas, tendem a se autodegradar durante o processo de imobilização (Yiu, H.H.P.; Wright, P.A.; Botting, N.P., 2001). Por isso, verificou-se a necessidade de diluí-las, para tornar o mecanismo de imobilização mais viável e possível, evitando, assim, a autocatálise.

A melhor forma de identificar a faixa ideal de diluição para a enzima analisada consiste em buscar diluições que apresentem atividades enzimáticas mais constantes. Dessa forma, as taxas de atividade serão dadas com base nos valores resultados na diluição ótima de cada enzima.

Outrossim, foi encontrado o seguinte comportamento observado na curva das figuras 4 e 5. O intervalo da curva que se manteve constante foi no ponto de diluição 2400-3000 e 3000-5000 para a protease *Bacillus licheniformis* e *Bacillus amyloliquefaciens*, respectivamente. Como o desejável era uma faixa no qual a atividade proteolítica fosse constante, então, tendo como base o valor do desvio padrão, a melhor taxa para protease *Bacillus licheniformis* foi de 7774,67 U/mL (diluição 2800) e para protease *Bacillus amyloliquefaciens* foi de 11265,0 U/mL (diluição 3000).

Os dados encontrados no atual relatório tiveram comportamento diversificado conforme os estudos dos demais autores da área. No artigo em que detalhou a atividade da enzima *Bacillus amyloliquefaciens* derivada da fermentação da pasta de soja (Rajarajapazham et al., 2021), foi verificado uma produção máxima de 3.712–3.940 U/mL, sendo bem inferior ao encontrado nesta pesquisa. Isso é esperado, pois neste estudo foram utilizadas proteases comerciais. Já, levando-se em consideração o estudo responsável por caracterizar a protease *Bacillus licheniformis* MA1 (Abdella, M.A.A; Ahmed, S.A., 2025), visualizou um total de 7321,8 U/mL de atividade máxima. Ou seja, a metodologia usada pelo atual experimento promoveu um comportamento dentro do padrão ou até mesmo superior ao exposto por outros pesquisadores, sendo enfatizado a eficácia das etapas usadas neste trabalho.

Conclusão

As atividades mais consistentes foram observadas nas diluições de 2800 para *Bacillus licheniformis* (7774,67 U/mL), tendo cerca de 19,54 mg/mL de concentração proteica. Já para *Bacillus amyloliquefaciens* o melhor valor de diluição foi de 3000 com 11265,0 U/mL de atividade enzimática e com 14 mg/mL de concentração. E, no caso do suporte, a massa total obtida do suporte SBA-15 foi de 2,4753 g, com aspecto esbranquiçado, característica esperada para esse material em específico.

Por meio dos resultados expostos neste relatório, foi possível identificar um conjunto de dados que contribuirá para a melhoria da qualidade no processo de imobilização das enzimas analisadas. Ademais, o fato de grande parte dos resultados estarem dentro da faixa do esperado e em concordância com outras pesquisas da área, mostra a viabilidade da aplicação em processos de imobilização.

É importante ressaltar que tais análises ainda estão em andamento. Um dos motivos para não ter sido finalizada no tempo proposto, foi devido à demora no recebimento dos materiais e reagentes necessários para a execução dos experimentos. Ainda assim, os resultados preliminares obtidos são suficientes para comprovar o potencial promissor e confiável da pesquisa em desenvolvimento.

Referências

- Abdella, M. A. A.; Ahmed, S. A. Stable protease from *Bacillus licheniformis*-MA1 strain: statistical production optimization, kinetic and thermodynamic characterization, and application in silver recovery from used X-ray films. *Microbial Cell Factories*, v. 24, art. 98, 2025. DOI: 10.1186/s12934-025-02706-z.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Charney, J.; & Tomarelli, R. M. (1947). A colorimetric method for the determination of the proteolytic activity of duodenal juice. *The Journal of Biological Chemistry*, 171(2), 501–505. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(17\)41059-3](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(17)41059-3)
- Cipolatti, E. et al. Immobilization of enzymes on nanomaterials: Necessity, opportunities, and drawbacks. In: *Bionanocatalysis: From Design to Applications*. Elsevier, 2023. p. 419-450.
- Cipolatti, E., Rios, N. S., Rodrigues, R. C., Tardioli, P. W., Berenguer-Murcia, A., RochaMartin, J., & Fernández-Lafunte, R. (2023). pagination_978-0-323-91760-5_B978- 0-323-91760-5.00013-0 (6). In *Bionanocatalysis: From Design to Applications: Vol. In press*.
- Emran, Md. A. et al. Purification and characterization of a thermostable alkaline protease from *Bacillus licheniformis* isolated from hot spring environment in Bangladesh. *Biotechnology Reports*, v. 28, p. e00568, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818120304060>
Acesso em: 21 jul. 2025.
- Guleria, S. et al. Immobilization of *Bacillus amyloliquefaciens* SP1 and its alkaline protease in various matrices for repeated use. *3 Biotech*, v. 6, n. 2, p. 165, 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5039138/>
Acesso em: 21 jul. 2025.
- Karimi, B. et al. Immobilization, stability and enzymatic activity of albumin and trypsin adsorbed onto nanostructured mesoporous SBA-15 with compatible pore sizes. *RSC Advances*, v. 4, n. 9, p. 4387-4394, 2014.
- Rajarajapazham, J.; Benit, N.; Alotaibi, S. S.; Rathi, M. A.; Srigopalram, S.; Biji, G. D.; Vijayaraghavan, P. In vitro fibrinolytic activity of an enzyme purified from *Bacillus amyloliquefaciens* strain KJ10 isolated from soybean paste. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 28, n. 8, p. 4117–4123, 2021.
- Ribeiro, L. M. O. et al. Imobilização da enzima invertase em material mesoporoso SBA-15 com superfícies funcionalizadas por diferentes compostos orgânicos. 2016.

Sarker, P. K. et al. Optimization and partial characterization of protease production by *Bacillus licheniformis* P003 in submerged fermentation. *Stamford Journal of Microbiology*, v. 3, n. 1, p. 1–6, 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3795880/>
Acesso em: 21 jul. 2025.

Sigma-Aldrich. Protease, Subtilisin A from *Bacillus licheniformis*. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/product/sigma/p5380>
Acesso em: 21 jul. 2025.

Souza, L. TA. et al. Imobilização enzimática: princípios fundamentais e tipos de suporte. 2017.

Pinheiro Bruna B., dos Santos Kimberle P., Rios Nathalia S., de Macedo André Casimiro, dos Santos José C.S. and Gonçalves Luciana R.B. (2019) Enzymatic Reactions and Biocatalytic Processes. In: Reedijk, J. (Ed.) Elsevier Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. Waltham, MA: Elsevier. 29-Nov-19 doi: 10.1016/B978-0-12-409547-2.14571-8.

Yiu, H. HP.; Wright, P.A.; Botting, N.P. Enzyme immobilisation using SBA-15 mesoporous molecular sieves with functionalised surfaces. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v. 15, n. 1-3, p. 81-92, 2001.

Anexos

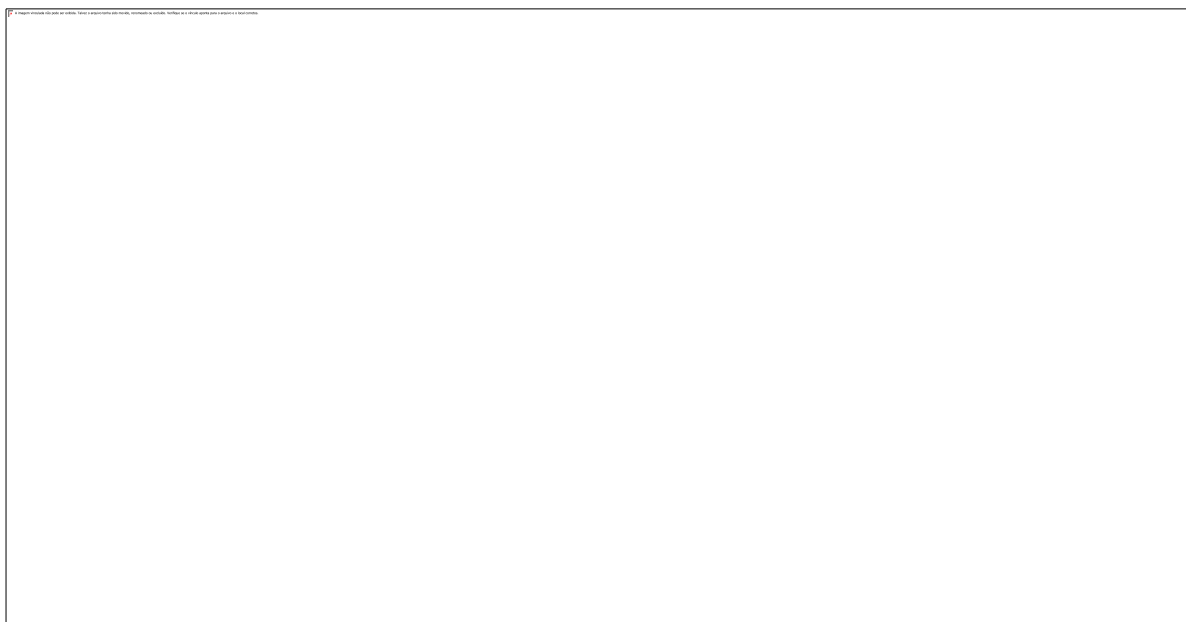


Figura 1- Relação entre a concentração proteica ao longo das diluições da enzima
Bacillus licheniformis

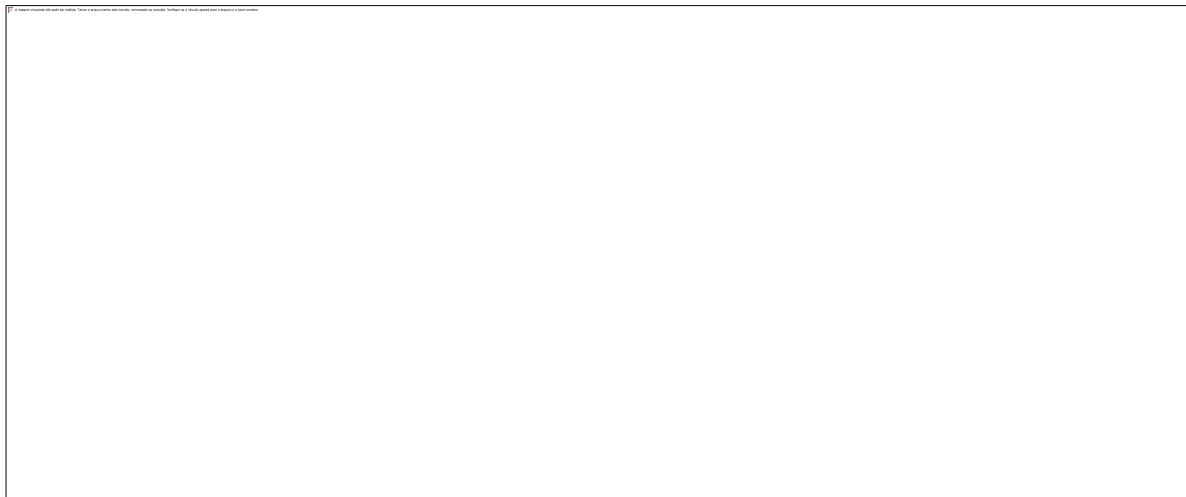


Figura 2- Relação entre a concentração proteica ao longo das diluições da enzima
Bacillus amyloliquefaciens

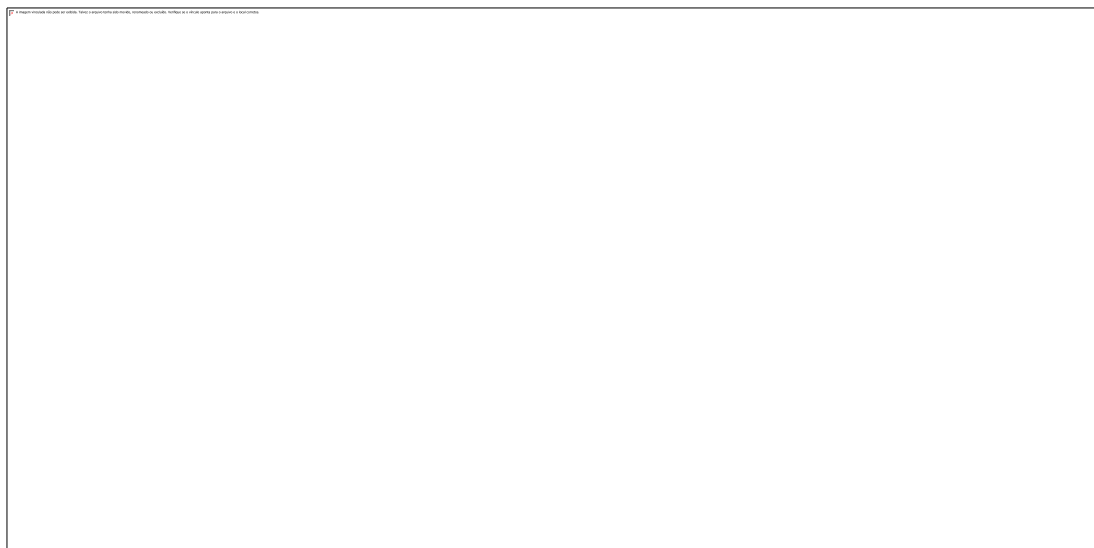


Figura 3: Primeira vez que o suporte foi sintetizado. Presença da coloração laranja-amarelada após 48h na autoclave de teflon a 100°C na massa da esquerda. A da direita foi a que deu certo, sendo o que era esperado para se encontrar após mesmo processo.

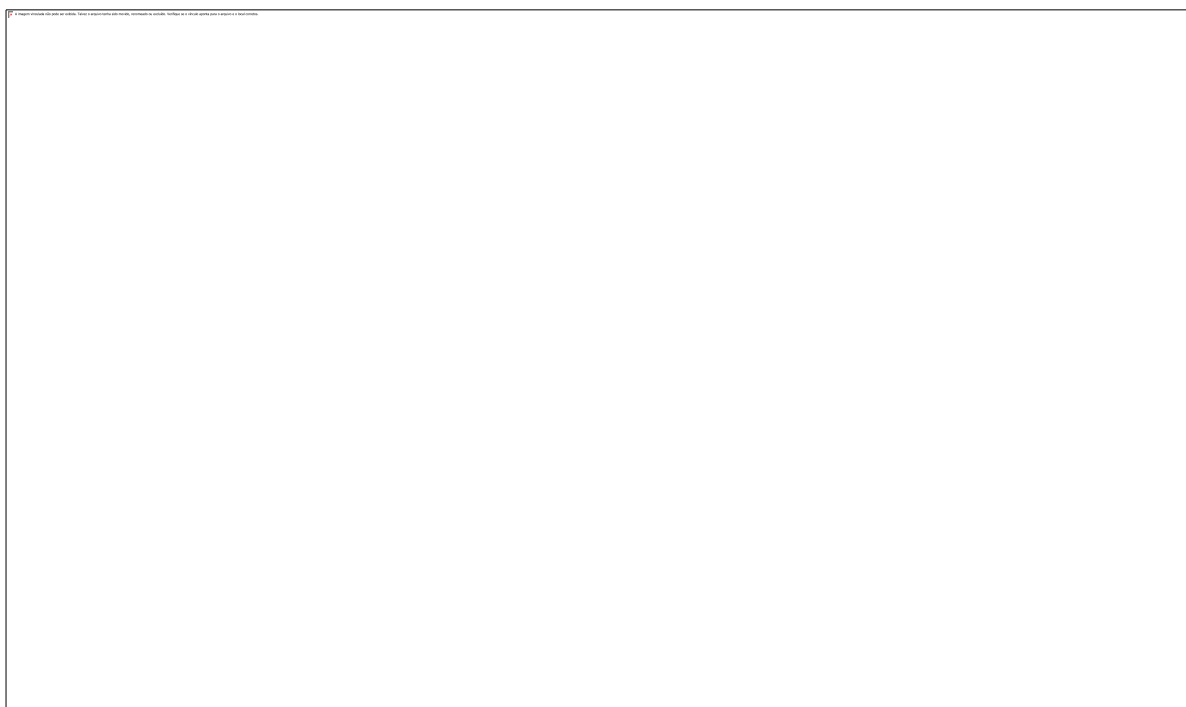


Figura 4- Acompanhamento da atividade proteolítica ao longo das diluições da enzima
Bacillus licheniformis

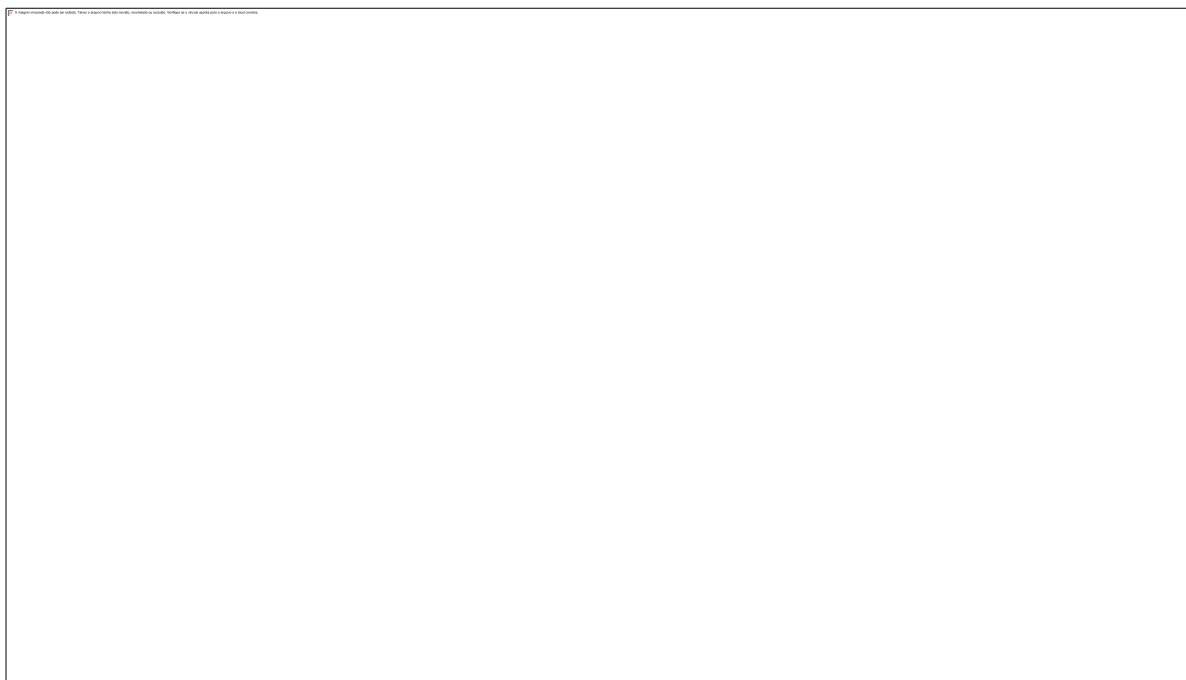


Figura 5- Acompanhamento da atividade proteolítica ao longo das diluições da enzima
Bacillus amyloliquefaciens

CÓDIGO: ET0042

AUTOR: MARCOS PAULO DE PAIVA ALVES

COAUTOR: TIAGO ALVES PAULINO

COAUTOR: EVERALDO SILVINO DOS SANTOS

COAUTOR: ISABELA OLIVEIRA COSTA

ORIENTADOR: NATHALIA SARAIVA RIOS

TÍTULO: Influência da carga enzimática no processo de imobilização

Resumo

A biocatálise enzimática tem se destacado como uma alternativa sustentável aos catalisadores químicos convencionais, sendo amplamente aplicada em diversos setores industriais. Este estudo avaliou o uso da fibra de coco verde, pré-tratada com explosão a vapor e ativada com periodato de sódio (1000 $\mu\text{mol/g}$), como suporte para a imobilização da lipase *Thermomyces lanuginosus* (TLL). Foram testadas diferentes cargas enzimáticas (5 a 50 mg/g) visando determinar a capacidade de adsorção do suporte. Os biocatalisadores gerados foram analisados quanto ao rendimento proteico, atividade teórica e atividade recuperada. Observou-se que a carga de 50 mg/g apresentou queda significativa no rendimento ($30,65 \pm 1,80\%$), enquanto as demais mantiveram valores superiores a 40%. Apesar do aumento da atividade absoluta com o acréscimo da carga enzimática, a atividade recuperada permaneceu baixa (1,21–4,53%), sugerindo limitações difusionais. A partir da estabilização da atividade do imobilizado, definiu-se 40 mg/g como carga máxima viável. Os resultados demonstram o potencial da fibra de coco como um suporte alternativo, de baixo custo, eficiente e boa capacidade de carga enzimática, *contribuindo* para a sustentabilidade de processos industriais.

Palavras-chave: Imobilização, lipase de *Thermomyces lanuginosus*, fibr

TITLE: Influence of enzyme load on the immobilization process

Abstract

Enzymatic biocatalysis has emerged as a sustainable alternative to conventional chemical catalysts and is widely applied across various industrial sectors. This study evaluated the use of green coconut fiber, pretreated with steam explosion and activated with sodium periodate (1000 $\mu\text{mol/g}$), as a support for the immobilization of *Thermomyces lanuginosus* lipase (TLL). Different enzyme loads (5 to 50 mg/g) were tested to determine the adsorption capacity of the support. The resulting biocatalysts were analyzed for protein yield, theoretical activity, and recovered activity. A significant drop in yield was observed at 50 mg/g ($30.65 \pm 1.80\%$), while the other loads maintained values above 40%. Although absolute activity increased with higher enzyme loading, the recovered activity remained low (1.21–4.53%), suggesting diffusional limitations. Based on the stabilization of the immobilized activity, 40 mg/g was defined as the maximum viable enzyme load. The results demonstrate the potential of coconut fiber as an alternative, low-cost, and efficient support with good enzyme-loading capacity, contributing to the sustainability of industrial processes.

Keywords: immobilization, *Thermomyces lanuginosus* lipase, coconut fiber

Introdução

Visando alinhar a indústria aos princípios da química verde, a biocatálise enzimática tem se destacado como uma alternativa sustentável aos catalisadores químicos tradicionais, atendendo a dez dos doze princípios da química verde (Datta; Christena; Rajaram, 2013; Ji et al., 2024; Pinheiro et al., 2019; Robescu; Bavaro, 2025). Essa abordagem se difundiu amplamente em setores como os das indústrias farmacêutica, alimentícia, ambiental, cosmética, de papel e celulose, de biocombustíveis e de produtos químicos em geral (Jaiswal A; Preet M; Tripti B, 2017; Maghraby et al., 2023). Dentre as enzimas mais utilizadas nesses processos estão as lipases (EC 3.1.1.3), devido à sua alta estabilidade, seletividade, eficiência catalítica e atuação sob condições brandas de pH e temperatura (Maghraby et al., 2023; Pinheiro et al., 2019).

Neste trabalho, foi utilizada a lipase de *Thermomyces lanuginosus* (PDB: 1DT3), uma enzima de 31,7 kDa composta por 269 aminoácidos, com pH ótimo de 9,0 e temperatura ideal entre 55 e 60 °C. Sua estrutura esférica ($35 \text{ \AA} \times 45 \text{ \AA} \times 50 \text{ \AA}$) possui um sítio ativo formado por histidina, serina e aspartato, coberto por uma “tampa” com um loop móvel em conformação alfa-helicoidal (Fernandez-Lafuente, 2010; Silva, João Matheus Fonteles et al., 2023).

Em virtude de diversas barreiras na utilização de enzimas solúveis nos processos industriais, como a baixa estabilidade em condições operacionais, em elevados pH's, temperaturas e forças de cisalhamento, além de difícil recuperação, é necessário o uso de alternativas que diminuam essas barreiras, como é o caso da técnica de imobilização enzimática (Brígida et al., 2007; Carlsson et al., 2014; Datta; Christena; Rajaram, 2013).

O processo de imobilização enzimática além de melhorar a estabilidade enzimas em condições operacionais, consegue permitir reusabilidade do biocatalisador, o que torna o uso mais viável, pois as enzimas apresentam um alto valor dentro do processo industrial, como também pode melhorar a eficiência catalítica em alguns casos, além de melhorar a resistência a inibidores (Barbosa et al., 2015; Carlsson et al., 2014; Mateo et al., 2007; Pinheiro et al., 2019).

Existem diversos métodos de imobilização enzimática. Um dos mais utilizados é a adsorção física, que se baseia em interações fracas, como forças de Van der Waals ou dipolo-dipolo, entre a enzima e o suporte (Fernandes; Lima; Lopes, 2010; Maghraby et al., 2023). Esse método permite uma maior facilidade na dessorção da enzima, sendo vantajoso especialmente quando há a necessidade de recuperar o suporte após a perda de atividade enzimática (Furlani et al., 2020; Maghraby et al., 2023). Outro método bastante empregado é o de ligação covalente, no qual ocorrem interações fortes entre a enzima e o suporte. Essa abordagem proporciona maior estabilidade da enzima frente a condições adversas do processo, como forças de cisalhamento, variações de pH e temperaturas elevadas, uma vez que as ligações covalentes exigem alta energia para serem rompidas (Brígida et al., 2007; Furlani et al., 2020).

Diante do alto custo dos suportes comerciais para imobilização enzimática, estudos vêm explorando alternativas mais econômicas, como resíduos industriais. A fibra de coco verde, subproduto da indústria de água de coco, mostrou-se uma matriz viável para imobilização enzimática, segundo Brígida et al., (2007). No Brasil, onde a produção de coco ultrapassa 3 milhões de toneladas (Martins; Sanches, 2019) esse resíduo surge como uma solução acessível e sustentável para uso como suporte.

Dando continuidade ao trabalho de Alves et al. (2024), o presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial de adsorção da fibra de coco pré-tratada com explosão a vapor e modificada com periodato de sódio no processo de imobilização da lipase de *Thermomyces lanuginosus*, visando a saturação do suporte com diferentes cargas enzimáticas e, assim, aprimorar a eficiência do biocatalisador em aplicações futuras.

Metodologia

Materiais

A lipase solúvel *Thermomyces lanuginosus* (TLL), na concentração de 17,04 mg/mL, foi obtida da Novozymes. O p-nitrofenil butirato (pNPB), utilizado como substrato para determinar a atividade enzimática da lipase, foi adquirido da Sigma Chemical Co. O periodato de sódio, empregado na ativação do suporte, foi comprado da Cequímica. Todos os demais reagentes utilizados eram de grau analítico.

Metodologia

Pré-tratamento da fibra

A fibra de coco verde utilizada neste estudo foi fornecida pela empresa Aqua Coco, localizada em Maxaranguape, Rio Grande do Norte (Brasil). Inicialmente, a fibra passou por um processo de maceração, secagem e peneiramento, utilizando peneiras com granulometria entre 20 e 48 mesh. Após essa etapa, a fibra foi submetida ao pré-tratamento por explosão a vapor, com o objetivo de remover a hemicelulose e aumentar a porosidade do material. Esse procedimento foi realizado em um reator com capacidade de 14 litros, no qual foram processados 100 g de fibra sob temperatura de 210 °C e pressão de 20 bar, durante 20 minutos.

Em seguida, a biomassa obtida foi lavada nas mesmas condições para eliminar a fração solúvel gerada pelo pré-tratamento. Posteriormente, a fibra passou por 10 lavagens consecutivas com água ajustada para pH 5,5, sob agitação, com tempo de 1 hora por lavagem e razão massa/volume de 1:20. Esse procedimento seguiu o protocolo descrito por Vassilev; Vassileva, (2019), com o intuito de remover os compostos solúveis presentes na biomassa.

Ativação da fibra de coco pré-tratada

Para o processo de ativação do suporte, foi utilizada uma solução de periodato de sódio na concentração de 1000 $\mu\text{mol/g}$, preparada em meio ácido com pH ajustado para 5,0. Quando necessário, o ajuste do pH foi realizado com ácido acético a 10% (v/v). A solução ativadora foi adicionada à fibra previamente tratada, respeitando uma razão massa/volume de 1:20, e a mistura foi submetida à agitação contínua a 24 rpm por um período de 5 horas, em ambiente escuro para evitar degradação por luz. Finalizada a reação, a fibra ativada foi cuidadosamente lavada com água, filtrada a vácuo e armazenada a 4 °C até seu uso posterior.

Imobilização da TLL na fibra de coco ativada

Para a imobilização da enzima TLL, foi preparada uma solução enzimática em tampão fosfato de sódio 5 mM (pH 7,0), com concentrações de 0,25-2,5 mg/mL. Em seguida, 0,2 g do suporte sólido foram incubados com 4 mL dessa solução, resultando em cargas enzimáticas de 5-50 mg/g de suporte. A incubação foi realizada sob agitação por 72 horas à temperatura ambiente. Após esse período, o material foi centrifugado para separação do sobrenadante, obtendo-se a enzima imobilizada (iTLL). A fase sólida foi então lavada com tampão fosfato de sódio (5 mM, pH 7,0), filtrada e submetida à secagem por filtração a vácuo. A enzima imobilizada foi armazenada sob refrigeração 4°C.

Os parâmetros de eficiência da imobilização foram determinados com base na metodologia descrita por Silva, et al., (2012). O rendimento de imobilização (R) foi calculado a partir da diferença entre a quantidade de proteínas presente inicialmente na solução (Pti) e a quantidade de proteínas remanescente no sobrenadante após o processo (Ptf), conforme a equação 1.

A atividade teórica (Atvt), definida como a atividade máxima esperada da enzima imobilizada com base na carga enzimática (Atof) e no rendimento de imobilização (R), foi determinada pela equação 2.

Já a atividade recuperada (Atvr) corresponde à razão entre a atividade enzimática medida do biocatalisador (Atvi) e a atividade teórica (Atvt), de acordo com a equação 3.

Incubação da enzima imobilizada em tampão carbonato-bicarbonato de sódio 50 mM pH 10,2

Para o procedimento de incubação, foi utilizada uma solução tampão bicarbonato-carbonato de sódio (50 mM pH 10,2). Em seguida, 0,2 g da enzima previamente imobilizada (iTLL5-50 – 1000 µmol/g) foram adicionados a 2 mL da solução tampão. A mistura foi incubada sob agitação constante de 24 rpm durante 18 horas à temperatura ambiente. Após o período de incubação, o material foi filtrado, seco e armazenado a 4 °C, resultando nos biocatalisadores denominados iTLL5-50-inc – 1000 µmol/g.

Redução da iTLL-inc com borohidreto de sódio

No biocatalisador produzido, foi realizada a redução da base de Schiff formada durante a imobilização enzimática, utilizando soluções de borohidreto de sódio (NaBH_4) na concentração de 1,0 mg/mL. Para o procedimento, 0,2 g da enzima imobilizada foram adicionados à solução redutora na proporção de 1:10 (massa/volume), e a mistura foi mantida sob agitação a 24 rpm por 30 minutos. Ao final do processo, a amostra foi lavada, filtrada a vácuo e armazenada a 4 °C, conforme metodologia descrita por Brígida et al., (2007).

Avaliação da Atividade Hidrolítica da TLL Solúvel e Imobilizada via Hidrólise do p-Nitrofenil Butirato (pNPB)

A atividade hidrolítica da lipase de *Thermomyces lanuginosus* (TLL), tanto na forma solúvel quanto nos biocatalisadores imobilizados (iTLL5-50-inc 1000 $\mu\text{mol/g}$), foi determinada por meio da reação de hidrólise do p-nitrofenil butirato (pNPB), preparado a 50 mM em acetonitrila. A reação foi realizada em tampão fosfato de sódio 50 mM, pH 7,0. Durante o processo de hidrólise, o pNPB é convertido em p-nitrofenol, cuja formação pode ser monitorada espectrofotometricamente a partir da absorbância em 348 nm. Para cada ensaio, foram utilizados 50 μL de pNPB, 2,5 mL de tampão fosfato de sódio 25 mM (pH 7,0) e 50 μL da preparação enzimática (enzima solúvel ou imobilizada, diluída em tampão). A reação foi conduzida em cubeta de vidro, sob agitação magnética, durante 1,5 minuto.

Resultados e Discussões

Para estudos em escala de bancada, os ensaios enzimáticos, em sua maioria, são realizados com cargas enzimáticas baixas por não haver a necessidade de altas conversões para os ensaios, mas esse fato muda quando pensamos em processos industriais. Nos processos industriais se faz necessário a melhor conversão possível para maior lucro, por esse fato tem-se a necessidade de saturar o suporte com enzimas para que tenha maior rendimento de produtos, assim como maximizar o lucro durante o processo (Costa, 2024)

Para avaliar a carga máxima de um suporte é testado diferentes concentrações de enzimas por um período, o qual a partir dos parâmetros de imobilização será possível identificar a capacidade de adsorção daquele material. Neste estudo, foram avaliadas seis cargas diferentes durante a imobilização (5-50 mg/g), sendo sempre colocado uma amostra controle junto para avaliar se haveria desativação das enzimas durante o ensaio.

A Tabela 1 mostra os parâmetros obtidos a partir do ensaio de carga máxima, a duração do experimento foi de 72 horas. Ao analisar a Tabela pode-se perceber que os rendimentos permanecem quase os mesmos nas diferentes cargas, com exceção da carga de 50 mg/g que teve uma queda no seu rendimento para $30,65 \% \pm 1,80$ enquanto os demais apresentaram rendimento $> 40 \%$, o que possivelmente se da a uma dificuldade do suporte de absorver uma carga tão alta de enzimas durante o tempo estabelecido para o ensaio.

Com o aumento da carga observa-se um aumento da atividade do imobilizado, o que é condizente já que está sendo oferecido mais enzima para o suporte, porém chega ao patamar ao qual a atividade do imobilizado tende a ficar praticamente constante de cerca de 28 U/g. Ao observar a atividade recuperada após o ensaio de imobilização se obteve valores baixos de atividade recuperada, isso indica que esta ocorrendo elevados efeitos difusionais no processo devido à alta carga enzimática que está sendo oferecida, já que quando comparados aos dados de Alves, (2023), a atividade recuperada do biocatalisador iTLL com carga oferecida 1 mg/g apresentou uma atividade recuperada 27,8 % que é cerca de 8 vezes maior dos que foram obtidos.

Para analisar os parâmetros de carga máxima, foram plotados os gráficos apresentados na Figura 1. Onde foram feitos três gráficos levando em consideração a atividade teórica, carga enzimática e atividade do imobilizado.

Em geral, a carga máxima é definida com base na atividade teórica e na carga enzimática. No entanto, ao observar a Figura 1, nota-se que não houve estabilização da atividade teórica. Pelo contrário, ocorreu um decréscimo para $718,83 \pm 28,16$ U/g. Esse resultado está relacionado ao baixo rendimento de imobilização desse biocatalisador em comparação aos demais. A atividade teórica é calculada com base no rendimento de imobilização e na atividade do branco. Portanto, um baixo rendimento impacta diretamente esse valor. Esse desempenho inferior pode estar relacionado à dificuldade do suporte em adsorver as enzimas no tempo disponível para a imobilização. Como consequência, uma grande parte das enzimas pode ter permanecido na solução, sem se fixar no suporte. Por esse motivo, foram plotados os outros 2 gráficos com intuito de analisar a estabilização dos parâmetros e definir a carga máxima para ser empregada no suporte. Pode-se observar uma estabilização na atividade do imobilizado versus a carga o que levou a definir a carga máxima do suporte sendo de 40 mg/g de enzima.

Conclusão

O presente estudo demonstrou que a fibra de coco verde, previamente tratada por explosão a vapor e ativada com periodato de sódio, configura-se como um suporte promissor e economicamente viável para a imobilização da lipase de *Thermomyces lanuginosus* (TLL). A partir da avaliação de diferentes cargas enzimáticas (5 a 50 mg/g), observou-se que o aumento da carga levou ao incremento da atividade absoluta do biocatalisador, embora a atividade recuperada tenha se mantido baixa, evidenciando possíveis limitações difusionais intrínsecas ao sistema. A carga de 50 mg/g apresentou queda significativa no rendimento de imobilização, o que, aliado à análise dos parâmetros de desempenho, permitiu estabelecer 40 mg/g como a carga máxima viável para o sistema estudado. Os resultados obtidos reforçam a aplicabilidade da fibra de coco como alternativa sustentável aos suportes convencionais, contribuindo para o desenvolvimento de bioprocessos mais eficientes e alinhados aos princípios da química verde.

Referências

- ALVES, M. P. P, PAULINO, T. A, COSTA, I. O, SANTOS, E. S, RIOS, N. S. Preparação de suportes heterofuncionais usando resíduos agroindustriais pré-tratados para a imobilização de enzimas. XXXIV Congresso de iniciação científica, 2023.
- ALVES, M. P. P, PAULINO, T. A, COSTA, I. O, SANTOS, E. S, RIOS, N. S. AVALIAÇÃO DA TERMOESTABILIDADE E ESTABILIDADE DE ESTOCAGEM DA LIPASE DE *Thermomyces lanuginosus* (TLL) IMOBILIZADA EM FIBRA DE COCO ATIVADA COM PERIODATO DE SÓDIO. XXXV Congresso de iniciação científica, 2024.
- BARBOSA, O.; ORTIZ, C.; BERENGUER-MURCIA, Á.; TORRES, R.; RODRIGUES, R. C.; FERNANDEZ-LAFUENTE, R. Strategies for the one-step immobilization–purification of enzymes as industrial biocatalysts. *Biotechnology Advances*, v. 33, n. 5, p. 435–456, set. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.03.006>.
- BRÍGIDA, A. I. S.; PINHEIRO, Á. D. T.; FERREIRA, A. L. O.; PINTO, G. A. S.; GONÇALVES, L. R. B. Immobilization of *Candida antarctica* lipase B by covalent attachment to green coconut fiber. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 137–140, n. 1–12, p. 67–80, abr. 2007. <https://doi.org/10.1007/s12010-007-9040-8>.
- CARLSSON, N.; GUSTAFSSON, H.; THÖRN, C.; OLSSON, L.; HOLMBERG, K.; ÅKERMAN, B. Enzymes immobilized in mesoporous silica: A physical–chemical

perspective. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 205, p. 339–360, mar. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.08.010>.

COSTA, I. O. PRODUÇÃO DE LIPASES IMOBILIZADAS EM FIBRA DE COCO PARA A SÍNTESE DE BIODIESEL VIA TRANSESTERIFICAÇÃO.

DATTA, S.; CHRISTENA, L. R.; RAJARAM, Y. R. S. Enzyme immobilization: an overview on techniques and support materials. *3 Biotech*, v. 3, n. 1, p. 1–9, fev. 2013. <https://doi.org/10.1007/s13205-012-0071-7>.

FERNANDES, K. F.; LIMA, C. S.; LOPES, F. M. Técnicas de Imobilização de Enzimas. *Revista Processos Químicos*, v. 4, n. 7, p. 53–58, 4 jan. 2010. <https://doi.org/10.19142/rpq.v4i7.107>.

FERNANDEZ-LAFUENTE, R. Lipase from *Thermomyces lanuginosus*: Uses and prospects as an industrial biocatalyst. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v. 62, n. 3–4, p. 197–212, mar. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2009.11.010>.

FURLANI, I.; AMARAL, B.; OLIVEIRA, R.; CASS, Q. IMOBILIZAÇÃO ENZIMÁTICA: CONCEITO E EFEITOS NA PROTEÓLISE. *Química Nova*, 2020. DOI 10.21577/0100-4042.20170525. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=8081&nomeArquivo=RV20190460.pdf. Acesso em: 4 ago. 2025.

JAISWAL A; PREET M; TRIPTI B. Production and Optimization of Lipase Enzyme from Mesophiles and Thermophiles. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, v. 09, n. 03, 2017. DOI 10.4172/1948-5948.1000355. Disponível em: <https://www.omicsonline.org/open-access/production-and-optimization-of-lipase-enzyme-from-mesophiles-andthermophiles-1948-5948-1000355.php?aid=90481>. Acesso em: 4 ago. 2025.

JI, L.; CHEN, M.; ZHANG, W.; NIAN, B.; HU, Y. Comprehensive applications of ionic liquids in enzyme immobilization: Current status and prospects. *Molecular Catalysis*, v. 552, p. 113675, jan. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2023.113675>.

MAGHRABY, Y. R.; EL-SHABASY, R. M.; IBRAHIM, A. H.; AZZAZY, H. M. E.-S. Enzyme Immobilization Technologies and Industrial Applications. *ACS Omega*, v. 8, n. 6, p. 5184–5196, 14 fev. 2023. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07560>.

MARTINS, A. P.; SANCHES, R. A. Assessment of coconut fibers for textile applications. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 24, n. 3, p. e12428, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190003.0743>.

MATEO, C.; PALOMO, J. M.; FERNANDEZ-LORENTE, G.; GUISAN, J. M.; FERNANDEZ-LAFUENTE, R. Improvement of enzyme activity, stability and selectivity via immobilization techniques. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 40, n. 6, p. 1451–1463, maio 2007. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2007.01.018>.

PINHEIRO, B. B.; DOS SANTOS, K. P.; RIOS, N. S.; DE MACEDO, A. C.; DOS SANTOS, J. C. S.; GONÇALVES, L. R. B. Enzymatic Reactions and Biocatalytic Processes. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering: Elsevier, 2019. p. B9780124095472145718. DOI 10.1016/B978-0-12-409547-2.14571-8. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124095472145718>. Acesso em: 4 ago. 2025.

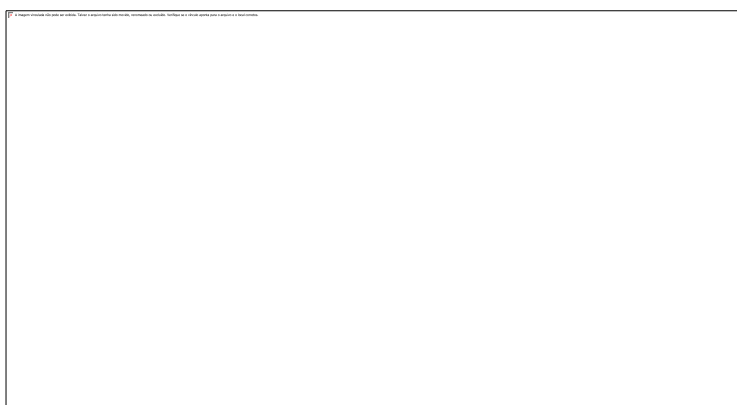
ROBESCU, M. S.; BAVARO, T. A Comprehensive Guide to Enzyme Immobilization: All You Need to Know. *Molecules*, v. 30, n. 4, p. 939, 18 fev. 2025. <https://doi.org/10.3390/molecules30040939>.

SILVA, J. A.; MACEDO, G. P.; RODRIGUES, D. S.; GIORDANO, R. L. C.; GONÇALVES, L. R. B. Immobilization of *Candida antarctica* lipase B by covalent attachment on chitosan-based hydrogels using different support activation strategies. *Biochemical Engineering Journal*, v. 60, p. 16–24, jan. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2011.09.011>.

SILVA, J. M. F.; DOS SANTOS, K. P.; DOS SANTOS, E. S.; RIOS, N. S.; GONÇALVES, L. R. B. Immobilization of *Thermomyces lanuginosus* lipase on a new hydrophobic support (Streamline phenyl™): Strategies to improve stability and reusability. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 163, p. 110166, fev. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2022.110166>.

VASSILEV, S. V.; VASSILEVA, C. G. Water-Soluble Fractions of Biomass and Biomass Ash and Their Significance for Biofuel Application. *Energy & Fuels*, v. 33, n. 4, p. 2763–2777, 18 abr. 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00081>.

Anexos



Equações

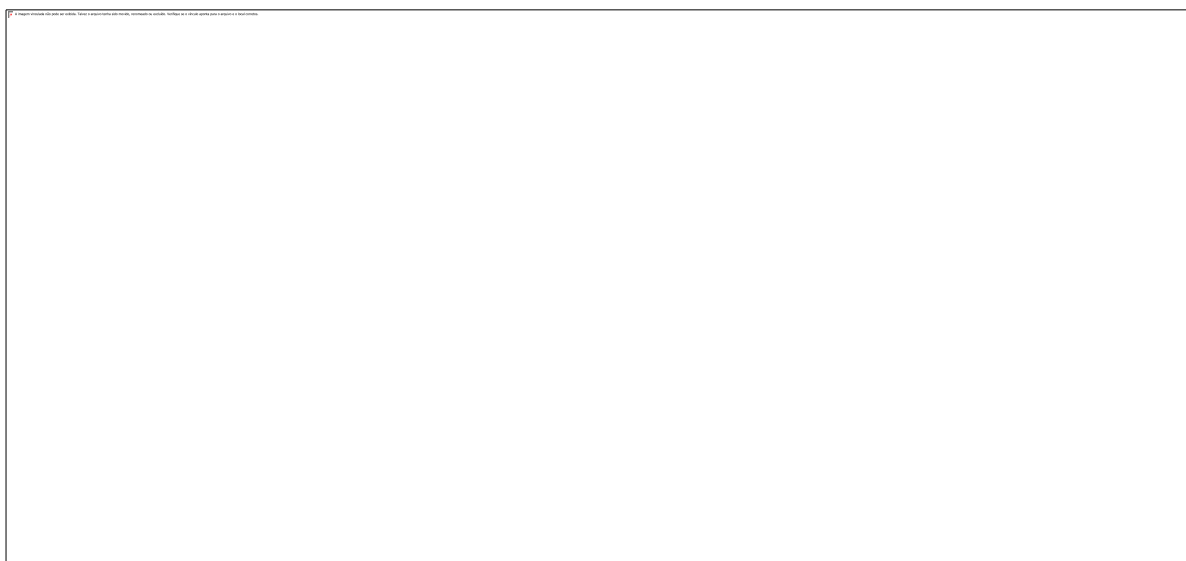


Tabela 1: Parâmetros de imobilização em tampão fosfato de sódio pH 7, 5 mM, em diferentes cargas enzimáticas na fibra de coco ativada.

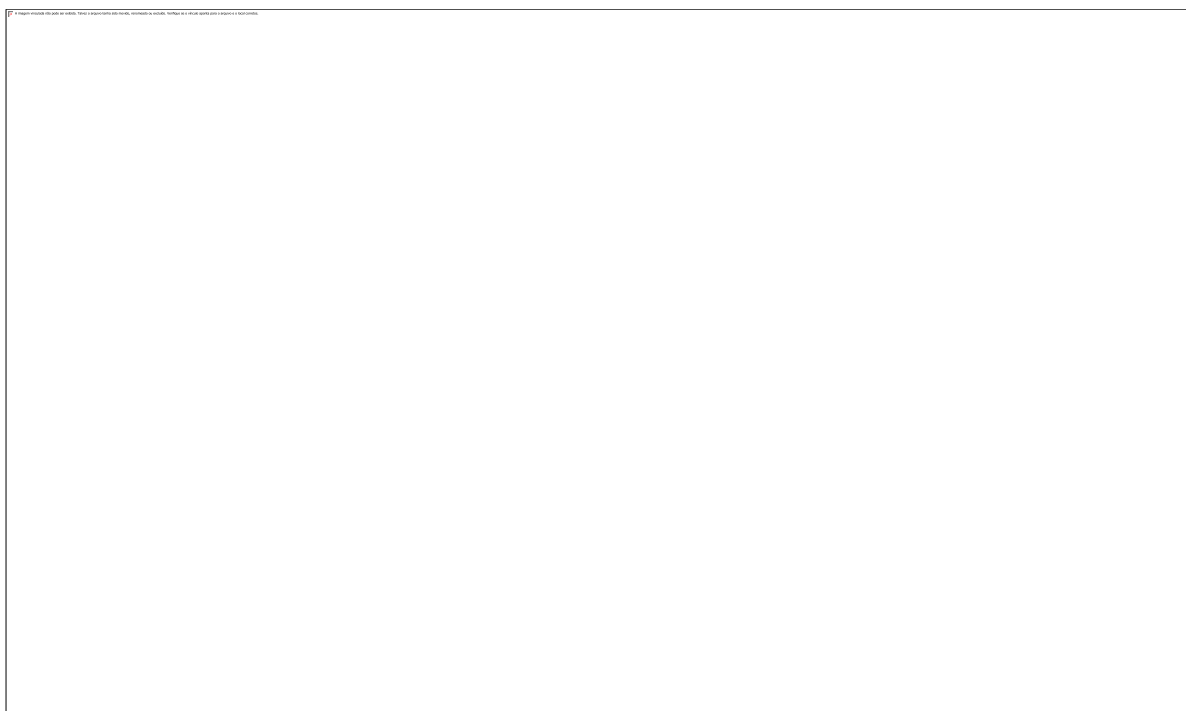


Figura 1: Gráficos de atividade teórica x carga, atividade do imobilizado x carga, atividade do imobilizado x atividade teórica.

CÓDIGO: ET0054

AUTOR: VITOR LORENZO SEVERO TEIXEIRA CATAO

ORIENTADOR: JOSE PATROCINIO DA SILVA

TÍTULO: Análise de Uma Lente Fotônica Baseada em um Metamaterial Quase-Periódico de Repetição Seis Vezes.

Resumo

Ao longo desta pesquisa, foi estudada uma lente fotônica baseada em uma estrutura quase periódica de furos de ar, imersos em um substrato constituído por um metamaterial com índice de refração 3.6. A lente analisada é formada pela repetição de uma célula unitária quase periódica, replicada seis vezes, utilizando as bandas proibidas geradas pela quase periodicidade para controlar a propagação da luz. Ademais, o sinal óptico incide perpendicularmente a direção longitudinal dos furos de ar mencionados, que bloqueia certas frequências de luz e permite a passagem de outras em determinadas direções, possibilitando efeitos como curvatura e amplificação do feixe. Para a realização da análise da estrutura, foi utilizado um software computacional já conhecido, capaz de realizar simulações por elementos finitos da propagação de feixes ópticos em estruturas fotônicas, conhecido como Método de Propagação de Feixe Vetorial (VBPM – Vectorial Beam Propagation Method). Os resultados obtidos evidenciam uma conformidade com dados experimentais dispostos pela literatura.

Palavras-chave: quase Cristais fotônicos , Lente fotônica, Repetição seis-vezes.

TITLE: Analysis of a Photonic Lens Based on a Quasi-Periodic Metamaterial with Sixfold Repetition for Advanced Optical Manipulation

Abstract

Throughout this research, a photonic lens was studied based on a quasi-periodic structure of air holes, imbedded in a metamaterial substrate with a refractive index of 3.6. The analyzed lens is formed by the repetition of a quasi-periodic unit cell, replicated six times, using photonic bandgaps, generated by the quasi-periodicity, to control the propagation of light. Furthermore, the optical signal is incident perpendicularly along the longitudinal direction of the air holes, which block certain light frequencies and allow others to pass through specific regions, enabling effects such as beam bending and focusing. For the analysis of the structure, a well-known

computational software was used, capable of performing finite element simulations of optical beam propagation in photonic structures, known as the Vectorial Beam Propagation Method (VBPM). The results obtained show conformity with experimental data available in the literature.

Keywords: Quasi-photonic crystals, photonic lens, six-fold repetition sequence.

Introdução

As propriedades físicas das ondas eletromagnéticas possibilitam sua propagação em diversos tipos de meios e estruturas. Essa característica tem sido amplamente explorada no desenvolvimento de diferentes dispositivos fotônicos, que se aproveitam desses fenômenos para possibilitar o desenvolvimento de novas tecnologias avançadas de transmissão de dados através da propagação da luz em frequências ópticas. Dentre estas aplicações, destaca-se o desenvolvimento de novas lentes fotônicas capazes de transmitir luz por meio de fendas metálicas, mesmo utilizando subcomprimentos de onda. Essas lentes apresentam baixas perdas e eficiência elevada, o que as torna promissoras para integração em sistemas ópticos modernos [1] – [6]. Além disso, outras abordagens empregam lentes fotônicas compostas por camadas de cristais fotônicos. Essas estruturas aproveitam as chamadas bandas de frequência proibidas para controlar e manipular a propagação das ondas eletromagnéticas. Com isso, é possível projetar dispositivos que induzem fenômenos como curvatura de feixes de luz, acoplamento controlado e focalização precisa do feixe luminoso, ampliando as possibilidades de controle sobre a luz em escala micrométrica [7]-[8]. Em adição, os quase cristais fotônicos (PQC), que vêm ganhando relevância nas aplicações da indústria de dispositivos ópticos, ampliam significativamente estas possibilidades. Diferentemente dos cristais fotônicos convencionais, os PQCs apresentam uma estrutura com ordenação de longo alcance, porém sem periodicidade translacional, o que confere a essas estruturas propriedades únicas. Apesar de não serem periodicamente repetitivos, os PQCs também exibem bandas fotônicas proibidas, permitindo o controle seletivo da propagação da luz em determinadas faixas de frequência.

Para aplicações em frequências ópticas, essas estruturas geralmente são fabricadas a partir de sílica, onde uma sequência quase periódica de furos de ar é inserida na seção transversal do material, estendendo-se ao longo de toda a direção de propagação da luz [9]. A geometria e o arranjo desses furos desempenham papel crucial no comportamento da estrutura, permitindo a engenharia de lacunas de banda fotônicas (PBGs) conforme necessário. Essa flexibilidade de design permite uma ampla gama de aplicações práticas, incluindo o ajuste da dispersão cromática [10], otimização de interferômetros ópticos [11], técnicas de imageamento avançado [12] e sensoriamento de alta sensibilidade [13], [14]. Além disso, os PQCs têm sido explorados em novos modelos de lentes fotônicas, oferecendo alternativas inovadoras para o controle da luz em sistemas ópticos integrados. Os quase cristais fotônicos (PQCs) apresentam simetrias rotacionais de ordem superior, permitindo padrões com repetições de 6, 8, 10 e até 12 vezes [9]. Essa característica confere às suas estruturas uma flexibilidade geométrica que pode ser explorada em diversas aplicações fotônicas avançadas.

Neste trabalho, propõe-se a utilização de um PQC como lente óptica, na qual o feixe de luz incide longitudinalmente ao longo da direção dos buracos de ar. A estrutura é baseada em um padrão quase periódico com simetria de ordem 6, ou seja, um padrão de

organização da célula unitária, baseado na repetição 6 vezes. Esse arranjo estrutural permite que a lente proposta atue como um excelente dispositivo para o acoplamento eficiente de luz entre dois dispositivos ópticos, como, por exemplo, uma fonte ou guia de onda dielétrico e um guia de ondas plasmônico. Para possibilitar esse acoplamento, os furos de ar na matriz de sílica podem ser ajustados e reorganizados conforme o padrão de repetição da célula unitária, a fim de otimizar a transmissão e manipulação da luz entre diferentes meios.

Metodologia

A lente fotônica proposta consiste em uma lâmina retangular plana feita de um metamaterial com índice de refração $n=3,6$, na qual foi implementada uma sequência quase periódica de furos de ar, formando uma rede quasicristalina projetada para confinar estrategicamente a luz, possibilitando o foco e o controle sobre a distância focal do dispositivo. Uma distribuição quase periódica é geralmente definida como a combinação de duas ou mais sequências periódicas [11],[12]. Neste trabalho, a sequência escolhida forma uma matriz bidimensional quase periódica, na qual o padrão de furos de ar é replicado seis vezes ao redor da célula unitária original, com rotações simétricas de 60° entre cada célula adjacente, criando uma estrutura com simetria rotacional de ordem 6. Esse padrão foi adotado devido à sua versatilidade, maior controle geométrico, facilidade de modelagem e implementação em comparação com estruturas periódicas, além de sua forte capacidade de confinamento de luz, o que permite uma propagação mais eficiente, especialmente para pulsos fotônicos ultracurtos [10]. A Figura 1 ilustra a estrutura proposta, onde a rede quasicristalina possui largura de $2,2358\mu\text{m}$ e altura de $6,6641\mu\text{m}$. Além disso, Λ representa o pitch (distância entre os centros de furos de ar adjacentes), com valor de $0,4\mu\text{m}$. Por fim, o raio dos furos de ar foi definido como $0,4\Lambda$. Os parâmetros geométricos da lente, como o diâmetro dos orifícios de ar e a distância entre seus centros (pitch), bem como o contraste entre os índices de refração dos materiais constituintes, foram cuidadosamente ajustados dentro da rede cristalina quase periódica formada. Essa manipulação permitiu que a estrutura apresentasse um índice de refração efetivo característico de um metamaterial. Para truncar o domínio computacional, camadas perfeitamente casadas (PML), do tipo retangular foram utilizadas rodeando a estrutura mostrada na Fig. 1. A espessura da PML, foi tomada como 10% da área da janela computacional para garantir que não ocorra reflexões indesejadas nas paredes de contorno da estrutura.

Ademais, as análises numéricas foram conduzidas utilizando uma formulação matemática [14] baseada no método dos elementos finitos (FEM), na qual as equações para a implementação das PML retangulares foram diretamente aplicadas. Para obter a formulação geral, as equações de Maxwell foram combinadas com identidades vetoriais relevantes. Após a aplicação de uma aproximação não para-axial, do Padé de ordem 1, a equação da matriz global foi derivada, como mostrado na Equação (1). $[A]\{\Phi\} = n_{eff}[B]\{\Phi\}$ (1). onde $[A]$ e $[B]$ são matrizes esparsas e complexas. Adicionalmente, (1) é resolvida utilizando um método de subespaço iterativo em que as

características dielétricas dos materiais são incluídas diretamente nos cálculos, obtendo-se, dessa forma, o índice de refração efetivo n_{eff} . A estrutura foi discretizada com 31.000 elementos triangulares do tipo linear, cujos tamanhos foram adaptados em relação às regiões de discretização que formam o domínio computacional. Para reduzir o esforço computacional, o tamanho dos elementos foi previamente definido de modo que os de menor aresta fossem colocados nas regiões menores e de maior concentração de energia. O índice de refração relativo do substrato, foi previamente analisado e preparado para ter um determinado valor positivo, para que, após a excitação da estrutura, o contraste entre os valores dos índices a distribuição dos buracos de ar dentro da região que forma a lente, produzisse o valor negativo, igual -1, no índice de refração efetivo. Essa característica produz mudança nos coeficientes dos elementos das matrizes esparsas

[A] e [B] presentes na equação 1. Dessa forma, o valor do índice de refração do metamaterial obtido após a excitação da estrutura, constitui um parâmetro fundamental para a sua interação com a luz. Esse parâmetro foi determinado como função de todos os materiais utilizados no dispositivo, bem como do comprimento de onda de excitação e da distribuição dos furos de ar. Portanto, para se determinar a frequência de operação da lente, ou seja, para se obter os valores permitidos de comprimento de onda, foram feitas análises paramétricas. Para as regiões da estrutura fora da lente, os valores de índice de refração utilizados foram igual 1.0, para a simular o espaço livre.

Resultados e Discussões

Para a obtenção dos resultados, foram realizadas simulações numéricas utilizando um algoritmo de formulação própria baseado no Método dos Elementos Finitos (FEM) em conjunto com o Método da Propagação Vetorial de Feixes (VBPM). Neste trabalho, a janela computacional considerada foi de $-3,2 \mu\text{m} \leq y \leq 3,2 \mu\text{m}$ na direção vertical e de $0 \mu\text{m} \leq x \leq 50 \mu\text{m}$ na direção horizontal, com 3.107 nós globais. A espessura das PMLs foi de 5 μm em todas as direções onde foram aplicadas. A lente foi excitada com um campo incidente formado por uma onda plana polarizada na direção (y) (TM), lançada na posição $x = 0$. A lente foi projetada para operar em um comprimento de onda $\lambda = 1550\text{nm}$. Nessas condições, a estrutura apresentou um foco em campo próximo em $x = 8,5$, conforme mostrado pela distribuição do campo elétrico (V/M), na Fig.2(a). A Fig. 2(b) apresenta uma vista seccional da densidade de potência normalizada na posição $x = 8,5 \mu\text{m}$. A partir da Fig. 2, observa-se que a lente simulada possui uma largura total a meia altura (Full Width at Half Maximum – FWHM) de 2,01 μm , o que corresponde a aproximadamente 30% da altura da estrutura, com uma profundidade de foco (Depth of Focus – DOF) de cerca de 8,5 μm . As equações utilizadas no projeto da lente são baseadas na óptica geométrica, que, embora extremamente útil para previsões iniciais e análises de desempenho, apresentam limitações de precisão, especialmente na região de campo próximo e nas proximidades da distância focal projetada. No entanto, os resultados obtidos nesta análise permaneceram dentro das expectativas teóricas, demonstrando boa concordância entre as posições focais previstas e as observadas

numericamente. Em seguida, a Fig. 3(a) mostra a potência média normalizada ao longo do eixo x no centro da lente ($y=0$). Este estudo também analisou a influência da distância entre a fonte de excitação e a entrada da lente (δ_x). Observa-se que há uma relação direta entre δ_x a distância focal: quanto mais próxima estiver a excitação da entrada da lente, maior será a distância focal. Para $\delta_x = 0,5\mu\text{m}$, a profundidade de foco (DOF) é aproximadamente $7,5\mu\text{m}$, e esse valor diminui à medida que a excitação se afasta da lente, chegando a cerca de $1,5\mu\text{m}$ em $\delta_x = 3,0$. Nota-se que, apesar da variação na DOF, a potência média não diminui, o que é interessante para aprimorar o controle de acoplamento entre duas estruturas quando é necessário um ajuste fino. A Fig. 3(b) mostra o comprimento focal máximo em função do comprimento de onda para a lente em análise. O comportamento geral da curva mostrada na Fig. 3(b) exibe uma tendência decrescente na distância focal à medida que o comprimento de onda aumenta de $0,8\mu\text{m}$ para $2,0\mu\text{m}$. Isso sugere que o sistema óptico apresenta dispersão cromática, ou seja, diferentes comprimentos de onda são focalizados em posições distintas. Dentro do intervalo de $0,8\mu\text{m}$ a $2,0\mu\text{m}$, a distância focal máxima diminui de aproximadamente $16,4\mu\text{m}$ para $14,5\mu\text{m}$, representando uma variação total de foco de cerca de $1,9\mu\text{m}$, o que pode ser significativo em aplicações de sensores de alta precisão. Há pequenas variações na inclinação da curva, indicando regiões onde a dispersão muda de forma mais acentuada ou mais gradual. Por exemplo, observa-se uma leve inflexão na curva entre $1,0\mu\text{m}$ e $1,2\mu\text{m}$, e novamente próximo de $1,4\mu\text{m}$.

Conclusão

Neste trabalho, foi realizada uma análise numérica da propagação de ondas eletromagnéticas em uma estrutura de lente óptica, com o objetivo de investigar o comportamento da distância focal quando a lente é composta por um material derivado de um segmento de guia de ondas formado pelo embutimento quase periódico de furos de ar em um substrato metamaterial. A estrutura da lente foi modelada considerando o embutimento de 107 furos de ar em uma matriz metamaterial com índice de refração de 3,6, distribuídos a partir de uma célula unitária quase periódica repetida seis vezes ao longo da estrutura. As simulações foram realizadas para um comprimento de onda central de 1550 nm , onde foi obtida uma largura máxima de espalhamento do sinal de $3,31\mu\text{m}$ na região focal. A densidade de potência média ao longo da linha central da região de focalização da luz também foi avaliada. Os resultados indicaram que, na região de máxima concentração de energia, a distância focal diminui à medida que o comprimento de onda aumenta. A variação total da distância focal, considerando o intervalo espectral de $0,8\mu\text{m}$ a $2,0\mu\text{m}$, foi de aproximadamente $1,9\mu\text{m}$, demonstrando o potencial da estrutura para aplicações em sensores ópticos de alta precisão.

Referências

- [1]Cosme E. Rubio-Mercedes, Nilson H. O. Cunha, and José P. da Silva. “Numerical Analysis of Plasmonic Couplers based on Metallic Lens.” *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Applications*, vol. 22, pp. 346–359, 2023.
- [2]T. Xu, C. Du, C. Wang, and X. Luo. “Subwavelength imaging by the metallic slab lens with nanoslits.” *Applied Physics Letters*, vol. 91, p. 201501, 2007.
- [3]Y. Zhao, S. Lin, A. Nawaz, B. Kiraly, Q. Hao, Y. Liu, and T. Huang. “Beam bending via plasmonic lenses.” *Optics Express*, vol. 18, pp. 23458–23465, 2010.
- [4]Mehwish Nisar and Qaisar Abbas Naqvi. “Circuit elements at optical frequency in non-integer dimensional space.” *Optik – International Journal for Light and Electron Optics*, vol. 150, pp. 29–33, 2017.
- [5]R. Merlin. “Radiationless electromagnetic interference: Diffractive evanescent-field lenses and perfect focusing.” *Science*, vol. 317, pp. 927–929, 2007.
- [6]A. Grbic and R. Merlin. “Near-field focusing plates and their design.” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, pp. 3159–3165, 2007.
- [7]Y. Jiang, S. Pillai and M. Green. “Realistic silver optical constants for plasmonics.” *Scientific Reports*, vol. 56, p. 30605, 2016.
- [8]Lei Zhang, Lin Wang, Yanqing Wu, and Renzhong. “Plasmonic Luneburg lens and plasmonic nano-coupler.” *Chinese Optics Letters*, vol. 18, p. 092401, 2020.
- [9]J. P. da Silva, Einstein G. dos Santos and Marcos T. B. S. “Directional Coupler Based on a Photonic Quasi-Crystal Fiber with Extended Cores.” *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Applications*, vol. 17, no. 2, pp. 201–207, 2018.
- [10]S. Kim, C. S. Kee and J. Lee. “Novel Optical Properties of Six-Fold Symmetric Photonic Quasicrystal Fibers.” *Optics Express*, vol. 15, pp. 13221–13226, 2007.
- [11]S. Kim and C. S. Kee. “Dispersion Properties of Dual-Core Photonic Quasicrystal Fibers.” *Optics Express*, vol. 15, pp. 15885–15890, 2009.
- [12]Nilson H. O. Cunha and José P. da Silva. “High Sensitivity Surface Plasmon Resonance Sensor Based on a Ge-Doped Defect and D-Shaped Microstructured Optical Fiber.” *Sensors (MDPI)*, vol. 22, pp. 3220–3237,
- [13]Magno M. de Araújo and José P. da Silva. “The Design of a Glycerol Concentration Sensor Based on an LRSPP Hybrid Photonic Biosensor.” *Sensors (MDPI)*, vol. 23, pp. 2010–2037, 2023.
- [14]José P. da Silva. *Simulação por Elementos Finitos de Propagação de Feixes Ópticos em Estruturas Fotônicas*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, Brasil, 11 de abril de 2013..

Anexos

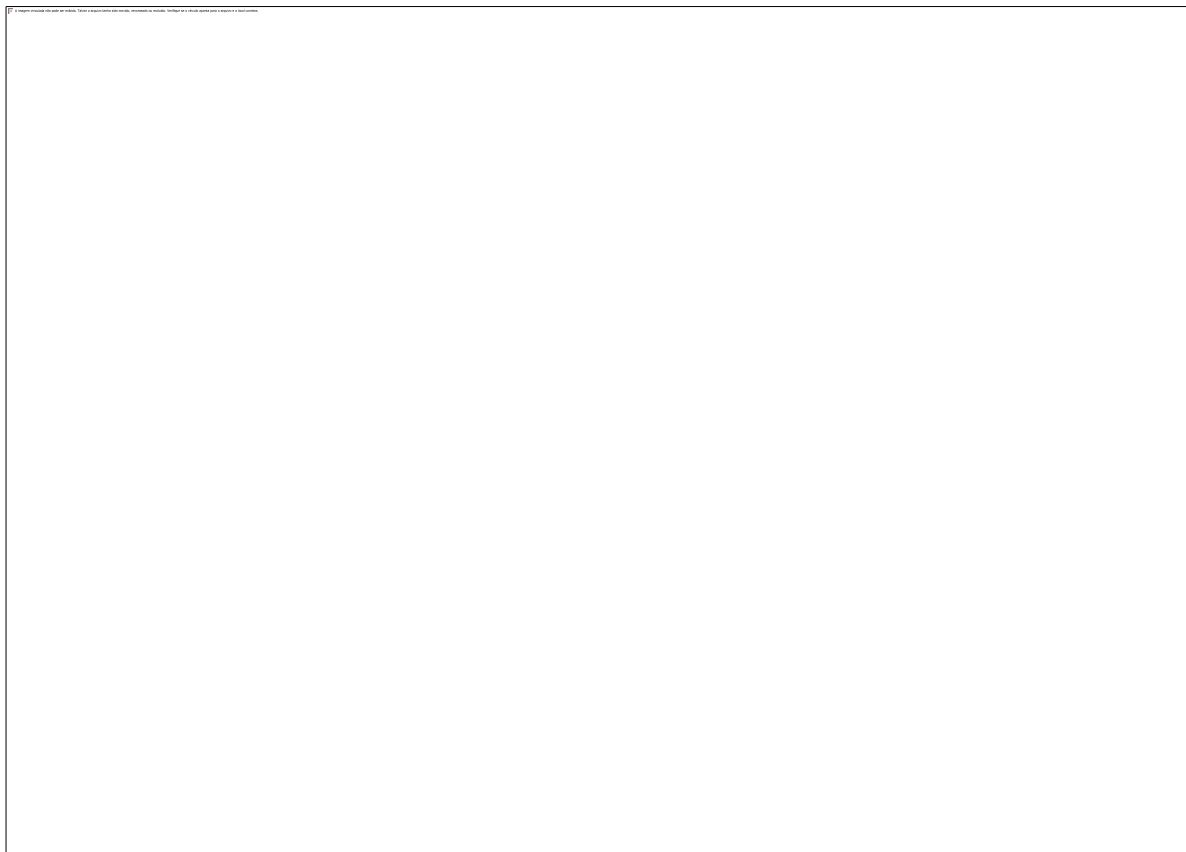


Figura 1: Esquemático da Lente Proposta

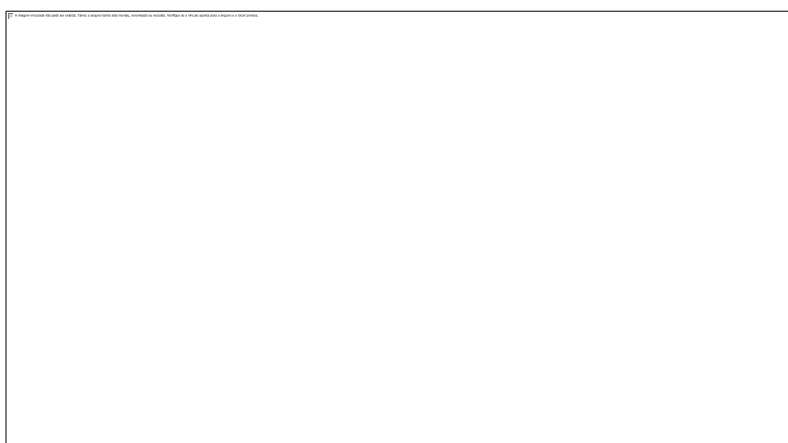


Figura 2(a): Distribuição da Intensidade de Campo Elétrico

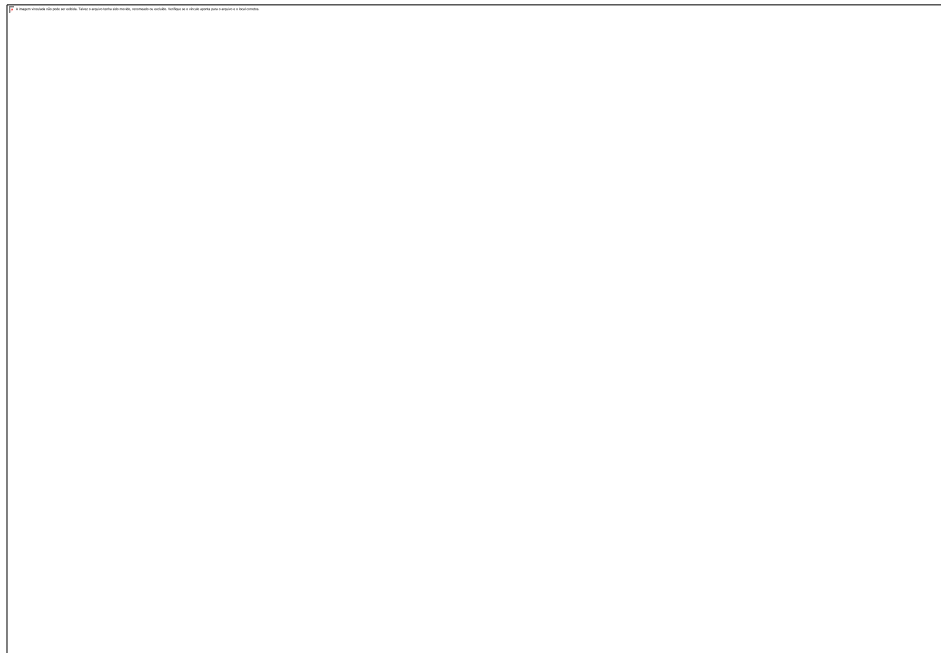


Figura 2(b): Vista transversal da intensidade de campo em $x = 8.5 \mu\text{m}$



Figura 3(a): Distribuição da potência média normalizada ao longo do eixo x na linha central da lente ($y = 0$)

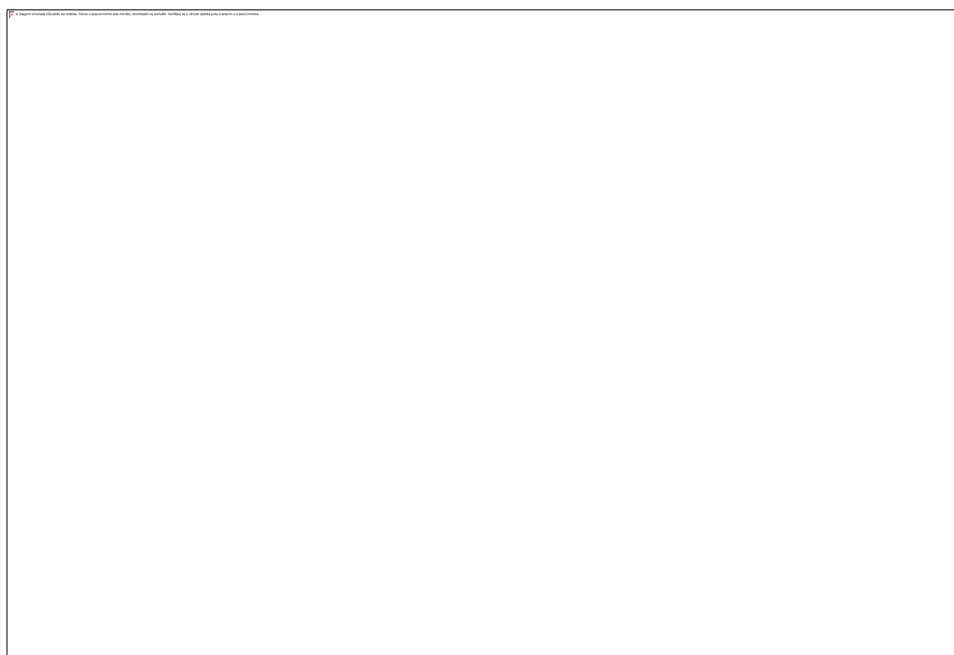


Figura 3(b): Comprimento do foco da lente em função do comprimento de onda.

CÓDIGO: ET0062

AUTOR: TIAGO ALVES PAULINO

COAUTOR: ISABELA OLIVEIRA COSTA

COAUTOR: MARCOS PAULO DE PAIVA ALVES

COAUTOR: EVERALDO SILVINO DOS SANTOS

ORIENTADOR: NATHALIA SARAIVA RIOS

TÍTULO: APRIMORANDO A EFICIÊNCIA DA IMOBILIZAÇÃO DA LIPASE B DE *Candida antarctica* (CalB) EM FIBRA DE COCO POR MEIO DE DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS E INCUBAÇÕES

Resumo

Este trabalho tem o objetivo de avaliar a imobilização por adsorção da lipase B de *Candida antarctica* (CalB) em fibra de coco verde, uma biomassa lignocelulósica abundante, frente a diferentes condições de pré-tratamentos (explosão a vapor, ácido e hidrotérmico) e diferentes pH's de imobilização (5, 7 e 9). Os métodos empregados se basearam no preparo das biomassas e sua imobilização em diferentes tampões, medidas de atividade enzimática com a hidrólise do p-nitrofenil butirato e dessorções com NaCl e Triton X-100. Os resultados se mostraram animadores com rendimento médio de 83,66%, além de destacar as biomassas imobilizadas em pH 5 por apresentarem maiores atividades recuperadas em diversas amostras. O ensaio de dessorção demonstrou que ligações iônicas não predominam no sistema, sendo o sistema regido predominantemente por ligações hidrofóbicas. Esses dados sugerem que as condições de imobilização alteram a natureza do sistema enzima-suporte, podendo trazer benefícios à otimização do biocatalisador.

Palavras-chave: Imobilização. fibra de coco. lipase. CalB. dessorção.

TITLE: IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE IMMOBILIZATION OF LIPASE B FROM *Candida antarctica* (CalB) IN COCONUT FIBER THROUGH DIFFERENT PRE-TREATMENTS AND INCUBATIONS

Abstract

This study aimed to evaluate the adsorption immobilization of *Candida antarctica* lipase B (CalB) on green coconut fiber, an abundant lignocellulosic biomass, under different pretreatment conditions (steam explosion, acid, and hydrothermal) and different immobilization pH values (5, 7, and 9). The methods employed were based on the preparation of biomasses and their immobilization in different buffers, measurements of enzymatic activity with the hydrolysis of p-nitrophenyl butyrate, and desorption with NaCl and Triton X-100. The results were encouraging, with a high average activity yield of 83.66%, in addition to highlighting the biomass immobilized at pH 5 for presenting higher recovered activities in several of the samples. The desorption test demonstrated that ionic bonds do not predominate in the system, the system being governed predominantly by hydrophobic bonds. These data suggest that the conditions under which immobilization occurred alter the nature of the enzyme-support system, which may have beneficial impacts on the optimization of the biocatalyst.

Keywords: Immobilization. coconut fiber. lipase. CalB. desorption.

Introdução

Enzimas são catalisadores já consolidados (Ali et al., 2023), contudo ainda apresentam limitações em sua forma solúvel, quando submetidas a condições industriais, como variações bruscas de pH, temperatura ou a presença de agentes desnaturantes (Pinheiro et al., 2019). A imobilização surge como maneira simples de subverter isso ao prender a enzima em um suporte sólido, oferecendo proteção física e estabilidade conformacional. Esse procedimento pode beneficiar a enzima ao incrementar sua estabilidade térmica e operacional, além de abrir possibilidade para reuso da mesma, agora em sua forma heterogênea (Sheldon; van Pelt, 2013; Sheldon, 2007).

Como alternativa para suporte em imobilização enzimática, resíduos agroindustriais surgem como uma fonte inovadora e sustentável (Brígida, Ana Iraidy Santa, 2006). Em trabalhos anteriores, a fibra de coco verde, produto abundante no Brasil, já demonstrou excelente desempenho na imobilização da lipase B de *Candida antarctica* (CalB) (Brígida, Ana I. S. et al., 2008, 2007). Todavia, aprimoramentos podem ser almejados para maximizar a performance e otimizar a aplicabilidade dos biocatalisadores em futuras reações de carácter industrial desejado.

Dentre os parâmetros que serão estudados nesse trabalho, estão o pré-tratamento do suporte e o pH do meio de imobilização. O pré-tratamento afeta diretamente a natureza de suportes lignocelulósicos ao remover e/ou rearranjar porções da composição da biomassa, alterando suas propriedades de rigidez, porosidade, área superficial e capacidade de adsorver enzimas, possibilitando maior afinidade com a enzima (Ribeiro et al., 2024). Em outra via, o pH de imobilização se relaciona com a conformação da enzima por meio do seu ponto isoelétrico (PI) e do suporte pelo ponto de carga zero (PCZ).

A escolha correta desses parâmetros pode favorecer interações atrativas entre o sistema lipase-suporte, otimizando a imobilização e proporcionando um ambiente mais

favorável à manutenção da estrutura e atividade enzimática. Desse modo, o presente trabalho investigará o impacto de diferentes pré-tratamentos ainda não testados e a influência do pH de imobilização sobre a imobilização da CalB em fibra de coco verde. Com isso, espera-se desenvolver biocatalisadores efetivos e estáveis, prontos para serem submetidos às reações de interesse industrial.

Metodologia

1.1 Preparo das Biomassas

Moagem e peneiramento (FC-IN): A fibra de coco verde, cortada grosseiramente, foi seca em estufa por 72 horas em 60 °C e moída com um moinho de facas em seguida. A biomassa obtida foi peneirada com peneiras de mesh 20 e 48. A biomassa utilizada foi a retida entre ambas.

Pré-tratamento Explosão a vapor (FC-EX): 100 g de biomassa foi inserida em um reator de 100 L nas condições: 210 °C, 20 bar e 10 minutos. A fibra obtida foi seca em estufa sob 60°C por 24 horas.

Pré-tratamento Ácido (FC-H+): Um meio contendo fibra de coco (10% m/v) e ácido sulfúrico (1% v/v) foi autoclavado por 60 minutos em 121 °C. A biomassa resultante foi lavada com água destilada, filtrada e seca à vácuo.

Pré-tratamento Hidrotérmico (FC-HY): Utilizando somente água destilada em 80 °C, adicionou-se biomassa (10% m/v). O meio passou por banho hidrostático também em 80 °C e 120 minutos. Então lavou-se a biomassa, fez-se a filtração e secagem à vácuo.

Lavagens: As biomassas in natura (FC-IN) e pré-tratadas foram lavadas 5 e 10 vezes, respectivamente, com água destilada pH 5,5 em proporção 1:20 (m/v) por uma hora em agitação suave. Em seguida cada biomassa foi incubada em diferentes pH's (5, 7 e 9) por 24 horas em agitação suave com tampões acetato de sódio, fosfato de sódio e carbonato de sódio em concentrações 5 mmol/L, respectivamente.

1.2 Imobilização

Inicialmente, utilizando diferentes tampões acetato de sódio (5,0 mM, pH 5,0), fosfato de sódio (5,0 mM, pH 7,0) e carbonato de sódio (5,0 mM, pH 9,0), preparou-se uma solução da enzima CalB em 0,05 mg/mL. Biomassa foi posta em contato com essa solução em proporção 1:20 (m/v) e carga enzimática 1 mg/g. Essa suspensão foi agitada por 24 horas em 24 rpm. O biocatalisador gerado foi lavado com o tampão de imobilização, filtrada e seca à vácuo.

1.3 Medida de atividade enzimática

Para atividade enzimática utilizou-se a hidrólise do p-nitrofenil butirato (pNPB) como reação modelo (Paulino et al., 2023). O meio formado por CalB imobilizada ou solúvel, tampão fosfato de sódio (25,0 mM, pH 7,0) e substrato pNPB foi posto sob agitação e sua absorbância foi lida em certos intervalos de tempo com auxílio de um espectrofotômetro.

Equações utilizadas para mensurar os parâmetros de imobilização estão descritas em anexo.

1.1 Dessorções

Ensaio de dessorção foram feitos nos melhores biocatalisadores vindo dos parâmetros de imobilização. CalB imobilizada em proporção 1:20 (m/v) foi posta em contato com soluções de NaCl (1,0 M) e Trítion X-100 (1,0% - v/v) por 4 horas. Após o período de dessorção, os biocatalisadores foram lavados com água destilada e tiveram suas atividades medidas para determinar a retenção pós dessorção.

Resultados e Discussões

1.1 Parâmetros de imobilização

Os resultados, trazidos na Tabela 1, se mostraram favoráveis à imobilização da CalB na biomassa de fibra de coco verde, imobilizando-se com sucesso em todas as condições testadas. Apresentando um animador rendimento em atividade médio de 83,66%, sendo 9 das 12 amostras responsáveis por trazerem rendimentos acima dos 80%.

Além dos rendimentos em atividade, as amostras imobilizadas demonstraram atividade durante a hidrólise do pNPB, indicando que a adsorção da enzima não impediu seu poder catalítico. Os imobilizados tiveram maiores atividade nas condições FC-EX-CALB com 6,48 e FC-H+-CALB com 6,73 U/g. Os resultados de atividade do imobilizado se traduziu também nas amostras com maior atividade recuperada, tendo, as amostras FC-EX-CALB e FC-H+-CALB, apresentado 42,95% e 42,03% da atividade recuperada, isso é, a percentagem de atividade de que a enzima exerceu frente a atividade teórica que deveria existir segundo o rendimento em atividade.

A variação de pH de imobilização também se mostrou como fator determinante na eficiência do biocatalisador. Melhores resultados foram obtidos com o pH 5, trazendo em 3 dos 4 pré-tratamentos (FC-IN-CALB, FC-EX-CALB e FC-HY-CALB) os maiores valores de atividade recuperada. A lipase CalB apresenta um ponto isoelétrico em 6 (Uppenberg et al., 1994) e apresenta cargas conforme o pH do meio em que está, influenciando a natureza das ligações que criará com o suporte da imobilização e seu ponto de carga zero (PCZ).

A fibra de coco em pH 5 e 7 apresentam PCZ semelhantes iguais a 6,67 e 6,74 (Paulino et al., 2025), respetivamente. Desse modo, para ambas as condições de imobilização, o

suporte e a enzima apresentarão a mesma carga. Imobilizações nessas condições podem acarretar repulsão eletrostática que dificulte a adsorção da CalB à fibra de coco, todavia a presença de atividade recuperada nas amostras implica que a imobilização foi bem-sucedida e qualquer repulsão existente não impediu a adsorção enzimática.

Os mais favoráveis parâmetros de imobilização em pH 5 podem ainda implicar na formação de interações de outras naturezas como Van der Waals ou hidrofóbicas, além da adsorção física. Para discernir as diferenças entre as interações formadas em cada biocatalisador, prosseguiu-se para os ensaios de adsorção.

1.1 Dessorções

A análise das dessorções, na Tabela 2, demonstraram um perfil destinto na natureza das ligações presentes na imobilização da CalB. Para os ensaios de dessorção, as amostras imobilizadas em pH 9 foram descontinuadas, pois percebeu-se sua inferioridade frente aos demais biocatalisadores quanto aos parâmetros de imobilização obtidos, o que poderia acarretar em perda de eficiência em posteriores ensaios de aplicação. Nas amostras testadas em pH 5 e 7, O NaCl trouxe resultados semelhantes quando comparadas as condições de pH e pré-tratamento, implicando baixa participação de ligações iônicas na imobilização.

O mesmo não ocorreu para a solução detergente, em pH 7 houve dessorção considerável, liberando a CalB do suporte e sugerindo a existência de ligações hidrofóbicas. Em pH 5, todavia, o comportamento foi contrariado e não houve sinais de qualquer dessorção em todos biocatalisadores. Isso pode implicar em ligações hidrofóbicas possuindo menos influencia nesta condição ou que a enzima adota conformações menos exposta hidrofobicamente.

Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram o potencial da fibra de coco verde como suporte eficaz para imobilização da CalB após pré-tratamentos químicos e térmicos. A imobilização mostrou-se eficiente em todas as condições testadas, com destaque para as amostras FC-EX-CALB e FC-H+-CALB que apresentaram 42,95% e 42,03% de atividade recuperada. As análises de dessorção evidenciaram que as interações predominantes no sistema não são de natureza iônica, e sim possivelmente hidrofóbicas ou do tipo Van der Waals, especialmente influenciadas pelo pH do meio. A ausência de dessorção com Triton X-100 em pH 5 sugere uma conformação enzimática menos exposta hidrofobicamente ou estabilizada. Esses achados destacam a importância do ajuste fino dos parâmetros de imobilização, especialmente o pH e o pré-tratamento do suporte, para a obtenção de sistemas enzimáticos mais estáveis e reusáveis, com aplicação promissora em processos industriais sustentáveis.

Referências

ALI, Sajid; KHAN, Sumera Afzal; HAMAYUN, Muhammad; LEE, In-Jung. The Recent Advances in the Utility of Microbial Lipases: A Review. *Microorganisms*, [s. l.], vol. 11, no 2, p. 510, 17 fev. 2023. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020510>.

BRÍGIDA, Ana I. S.; PINHEIRO, Álvaro D. T.; FERREIRA, Andrea L. O.; GONÇALVES, Luciana R. B. Immobilization of *Candida antarctica* Lipase B by Adsorption to Green Coconut Fiber. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, [s. l.], vol. 146, no 1–3, p. 173–187, 27 mar. 2008. <https://doi.org/10.1007/s12010-007-8072-4>.

BRÍGIDA, Ana I. S.; PINHEIRO, Álvaro D. T.; FERREIRA, Andrea L. O.; PINTO, Gustavo A. S.; GONÇALVES, Luciana R. B. Immobilization of *Candida antarctica* lipase B by covalent attachment to green coconut fiber. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, [s. l.], vol. 137–140, no 1–12, p. 67–80, abr. 2007. <https://doi.org/10.1007/s12010-007-9040-8>.

BRÍGIDA, Ana Iraidy Santa. ESTUDO DA IMOBILIZAÇÃO DE LIPASE TIPO B DE *Candida antarctica* UTILIZANDO FIBRA DA CASCA DE COCO VERDE COMO SUPORTE. FORTALEZA: [s. n.], 2006. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/68307>.

PAULINO, T A; ALVES, M P P; COSTA, I O; DOS SANTOS, E S; RIOS, N S. AVALIAÇÃO DE DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS DA FIBRA DE COCO VERDE PARA OBTENÇÃO DE BIOCATALISADORES DE LIPASE *Candida antarctica* B (CalB) ATRAVÉS DE IMOBILIZAÇÃO. [S. l.: s. n.], 2025.

PAULINO, T A; RODRIGUES, J P C; ALVES, M P P; DOS SANTOS, E S; RIOS, N S. IMOBILIZAÇÃO DA LIPASE B DE *Candida antarctica* (CalB) EM FIBRA DE COCO IN NATURA E COM PRÉ-TRATAMENTOS ALCALINOS E POR EXPLOÇÃO A VAPOR. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/p/171199?lang=pt-br>.

PINHEIRO, Bruna B.; DOS SANTOS, Kímerle P.; RIOS, Nathalia S.; DE MACEDO, André Casimiro; DOS SANTOS, José C.S.; GONÇALVES, Luciana R.B. Enzymatic Reactions and Biocatalytic Processes. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. [S. l.]: Elsevier, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14571-8>.

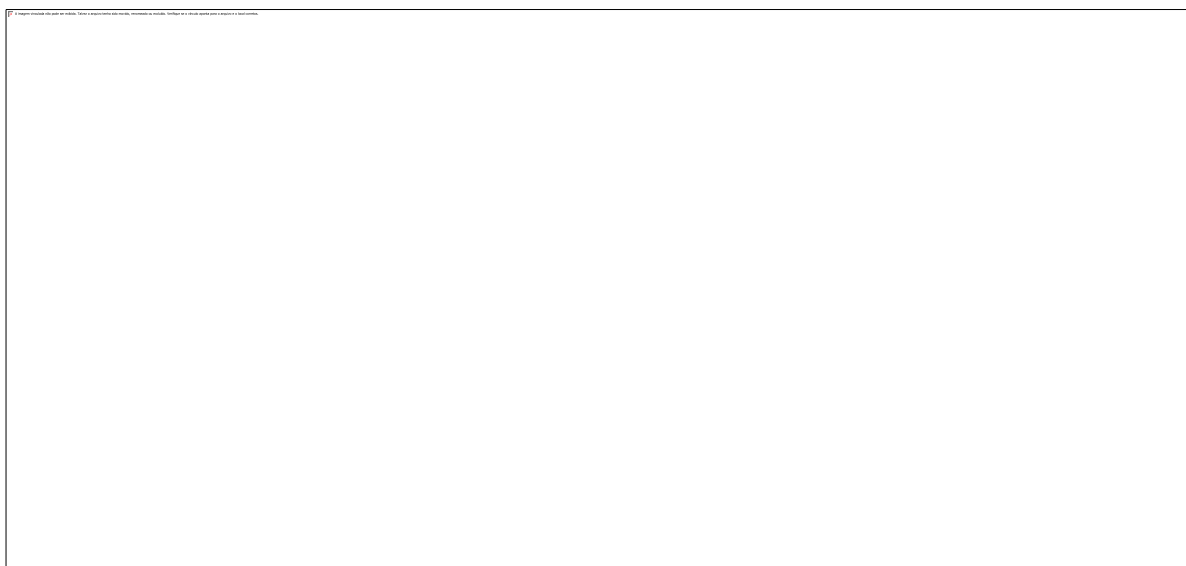
RIBEIRO, Vitor Troccoli; CAMPOLINA, Amanda Castro; DA COSTA, Willyan Araújo; DE ARAÚJO PADILHA, Carlos Eduardo; DA COSTA FILHO, José Daladiê Barreto; DE SÁ LEITÃO, Ana Laura Oliveira; DA CÂMARA ROCHA, Juliene; DOS SANTOS, Everaldo Silvino. Ethanol production from green coconut fiber using a sequential steam explosion and alkaline pretreatment. *Biomass Conversion and Biorefinery*, [s. l.], vol. 14, no 7, p. 8579–8589, 22 abr. 2024. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03100-0>.

SHELDON, Roger A.; VAN PELT, Sander. Enzyme immobilisation in biocatalysis: why, what and how. *Chem. Soc. Rev.*, [s. l.], vol. 42, no 15, p. 6223–6235, 27 mar. 2013. <https://doi.org/10.1039/C3CS60075K>.

SHELDON, Roger A. Enzyme Immobilization: The Quest for Optimum Performance. *Advanced Synthesis & Catalysis*, [s. l.], vol. 349, no 8–9, p. 1289–1307, 4 jun. 2007. <https://doi.org/10.1002/adsc.200700082>.

UPPENBERG, Jonas; HANSEN, Mogens Trier; PATKAR, Shamkant; JONES, T. Alwyn. The sequence, crystal structure determination and refinement of two crystal forms of lipase B from *Candida antarctica*. *Structure*, [s. l.], vol. 2, no 4, p. 293–308, abr. 1994. [https://doi.org/10.1016/S0969-2126\(00\)00031-9](https://doi.org/10.1016/S0969-2126(00)00031-9).

Anexos



Equações

Imagem reservada para uso exclusivo. Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta imagem pode ser reproduzida ou transmitida sem autorização prévia por escrito da UFRN.

Tabela 1

Imagem reservada para uso exclusivo. Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta imagem pode ser reproduzida ou transmitida sem autorização prévia por escrito da UFRN.

Tabela 2

CÓDIGO: ET0109

AUTOR: THAISE MIRIELE SILVA NOGUEIRA

ORIENTADOR: SANDRA RUFINO SANTOS

TÍTULO: NEGÓCIOS DE IMPACTO COMO VETORES DO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: POLÍTICAS PÚBLICAS NO ESTADO
DO RN

Resumo

Este artigo analisa o papel dos negócios de impacto como vetores do desenvolvimento sustentável no Rio Grande do Norte, impulsionados por políticas públicas e pela atuação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Alinhados à Agenda 2030, esses empreendimentos que unem retorno financeiro e impacto socioambiental positivo são vistos como uma resposta inovadora aos desafios contemporâneos. O problema de pesquisa questiona como a articulação entre a universidade e as políticas públicas pode fortalecer efetivamente este ecossistema. O objetivo é refletir sobre como essa sinergia impulsiona uma economia regenerativa e circular no estado. A metodologia é qualitativa, combinando revisão bibliográfica e sistemática de documentos como a Lei nº 10.483/2019, o Decreto nº 11.646/2023 e o PDI da UFRN, além da participação ativa no Comitê Estadual de Investimentos e Negócios de Impacto Social (CENIS). Os resultados apontam forte convergência entre o arcabouço normativo, o planejamento estratégico da UFRN e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. A universidade atua como catalisadora, fomentando o empreendedorismo e a inovação por meio de suas políticas de extensão, pesquisa e inovação. Apesar dos avanços, persistem desafios como o acesso a capital e a mensuração de impacto, evidenciando que a colaboração multissetorial é a chave para o sucesso do ecossistema.

Palavras-chave: Negócios de Impacto. Políticas Públicas. Rio Grande do Norte. UFRN.

TITLE: Impact Businesses as Drivers of Sustainable Development: Public Policies in the State of Rio Grande do Norte

Abstract

This article analyzes the role of impact businesses as drivers of sustainable development in Rio Grande do Norte, boosted by public policies and the actions of the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN). Aligned with the 2030 Agenda, these ventures, which combine financial return with positive socio-environmental impact, are seen as an innovative response to contemporary challenges. The research problem questions how the articulation between the university and public policies can effectively strengthen this ecosystem. The objective is to reflect on how this synergy promotes a regenerative and circular economy in the state. The methodology is qualitative, combining a bibliographic and systematic review of documents such as Law No. 10,483/2019, Decree No. 11,646/2023, and UFRN's Institutional Development Plan (PDI), in addition to active participation in the State Committee for Investments and Social Impact Businesses (CENIS). The results indicate a strong convergence between the normative framework, UFRN's strategic planning, and the Sustainable Development Goals. The university acts as a catalyst, fostering entrepreneurship and innovation through its extension, research, and innovation policies. Despite the progress, challenges such as access to capital and impact measurement persist, highlighting that multi-sector collaboration is the key to the ecosystem's success.

Keywords: Impact Investing. Public Policies. Rio Grande do Norte. UFRN.

Introdução

Os negócios de impacto têm ganhado destaque como uma estratégia inovadora para enfrentar desafios sociais e ambientais de forma sustentável, ao combinar retorno financeiro com geração de impacto positivo. No Brasil, esse modelo tem sido fortalecido por iniciativas como a Estratégia Nacional de Economia de Impacto, instituída pelo Decreto nº 11.646/2023, que articula órgãos públicos, setor privado e sociedade civil para promover um ambiente favorável à economia de impacto. No âmbito estadual, a Lei nº 10.483/2019 do Rio Grande do Norte estabelece diretrizes para o desenvolvimento de políticas voltadas aos negócios de impacto social, evidenciando o compromisso regional com a transformação socioeconômica.

Esse movimento está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 como parte da Agenda 2030. Os ODS consistem em 17 metas globais que visam erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e garantir paz e prosperidade para todos até 2030.

A Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), como instituição pública de ensino e pesquisa, tem assumido um papel estratégico na promoção do desenvolvimento sustentável, integrando o Comitê Estadual de Investimentos e Negócios de Impacto Social (CENIS) e fomentando a criação de negócios de impacto no estado. Através de ações de pesquisa, formação e assessoria, a UFRN busca contribuir para o fortalecimento de empreendimentos que atuam diretamente na mitigação de problemas sociais, alinhando-se aos ODS da Agenda 2030.

Este trabalho tem como objetivo refletir sobre como o fomento aos negócios de impacto, por meio da atuação da UFRN e da articulação com políticas públicas, pode impulsionar políticas públicas focadas no desenvolvimento de uma economia de regenerativa e

circular no estado do RN. A pesquisa parte da compreensão de que a universidade, ao promover conhecimento aplicado e formar agentes sociais, desempenha um papel essencial na construção de soluções inovadoras e inclusivas. A metodologia adotada envolve revisão bibliográfica e revisão sistemática, além da dimensão participativa.

Ao analisar as ações desenvolvidas e seus efeitos, este estudo busca evidenciar a relevância da integração entre academia, governo e sociedade civil na construção de um ecossistema de impacto, capaz de promover desenvolvimento sustentável, inclusão social e inovação. A reflexão proposta contribui para o debate sobre o papel das instituições de ensino superior na transformação da realidade local e no avanço das metas globais de sustentabilidade.

Metodologia

Para a elaboração deste artigo, adotou-se uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, com o objetivo de compreender o papel das universidades e das políticas públicas no fortalecimento dos negócios de impacto socioambiental, especialmente no contexto do estado do Rio Grande do Norte. Para isso, foram utilizados três procedimentos metodológicos complementares: revisão bibliográfica, revisão sistemática da literatura e participação ativa em espaços de articulação.

A revisão bibliográfica teve como finalidade construir o referencial teórico que fundamenta a pesquisa. Foram consultadas obras acadêmicas, artigos científicos, documentos oficiais e relatórios institucionais que abordam os seguintes eixos temáticos: negócios de impacto, economia de impacto, políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável, e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).

As fontes foram selecionadas a partir de materiais disponibilizados pela coordenadora do projeto, todos disponíveis em sites oficiais, como o Portal da Legislação do Governo Federal e o Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte. Assim, foram incluídos nesta análise documentos estratégicos como o Decreto nº 11.646/2023, a Lei nº 10.483/2019 e o Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Além do artigo “O que são negócios de impacto: características que definem empreendimentos como negócios de impacto” do Instituto de cidadania empresarial e o PIPE.SOCIAL, e do livro “Negócios de impacto socioambiental no Brasil: como empreender, financiar e apoiar” dos autores Edgard Barki, Graziella Maria Comini e Haroldo da Gama Torres, para acrescentar a discussão também foi analisada duas leis de compras governamentais, sendo elas a Lei nº 11.363, de 17 de janeiro de 2023 que Institui o Programa Estadual de Compras Governamentais da Economia Solidária no âmbito do Estado e Lei nº 10.536, de 3 de julho de 2019 que Cria o Programa Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária (PECAFES).

Essa etapa permitiu identificar os principais conceitos, abordagens e desafios relacionados ao campo dos negócios de impacto, além de contextualizar a atuação da universidade e do poder público na promoção do desenvolvimento sustentável.

A revisão sistemática foi conduzida com o objetivo de identificar evidências empíricas sobre a efetividade de políticas públicas e iniciativas acadêmicas no fortalecimento de negócios de impacto. Para isso, foi definida a seguinte pergunta de pesquisa: “Quais evidências existem sobre o papel das universidades e das políticas públicas no fortalecimento de negócios de impacto socioambiental? Como essas políticas podem ser fortalecidas?”

Foram estabelecidos critérios de inclusão e recorte geográfico, vale-se portanto, as leis, decretos e atos diretamente relacionados aos negócios de impacto socioambiental, tendo como enfoque o estado do Rio Grande do Norte. Foi realizada uma análise crítica baseada nos materiais já citados, com foco em políticas públicas e atuação universitária, além da relevância temática para o contexto potiguar.

Os artigos selecionados foram analisados quanto aos objetivos, métodos, resultados e contribuições para o campo. Além das etapas de revisão teórica e sistemática, o estudo incorporou uma dimensão participativa, por meio da atuação direta em espaços de articulação institucional. O pesquisador participou de reuniões do Comitê Estadual de Investimentos e Negócios de Impacto Social (CENIS), bem como dos cinco grupos organizados por eixos temáticos, que são eles: ampliação da oferta de capital, aumento do número de negócios de impacto, fortalecimento das organizações intermediárias, promoção de ambiente institucional favorável e articulação interfederativo.

Essas atividades permitiram a observação direta dos processos de formulação e implementação de políticas públicas. A coleta de percepções e experiências de atores envolvidos (gestores públicos, empreendedores, representantes da sociedade civil e da academia) e a contribuição ativa para o desenvolvimento de estratégias e instrumentos de apoio aos negócios de impacto.

A participação foi registrada por meio de atas, relatórios e registros de reuniões, que também foram utilizados como fontes de análise qualitativa. A combinação entre revisão bibliográfica, revisão sistemática e participação institucional permitiu uma análise abrangente e aprofundada do tema, articulando fundamentos teóricos, evidências empíricas e vivências práticas. Essa integração contribui para a construção de um panorama crítico sobre os negócios de impacto e sua relação com o desenvolvimento sustentável, oferecendo subsídios para a formulação de políticas públicas e estratégias institucionais mais eficazes.

Resultados e Discussões

A análise integrada dos documentos e da participação institucional revela um alinhamento entre a agenda global de sustentabilidade, as políticas públicas brasileiras e as ações

estratégicas no Rio Grande do Norte, com a UFRN atuando como um catalisador central. Os resultados demonstram como os negócios de impacto são instrumentalizados para alcançar o desenvolvimento sustentável e de que forma o ecossistema potiguar está se estruturando para essa finalidade.

3.1. Negócios de Impacto como Instrumento para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A Agenda 2030 estabelece um "plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade", buscando um desenvolvimento que equilibre as dimensões econômica, social e ambiental. Os negócios de impacto, conforme definidos pela literatura, materializam essa visão. O estudo do ICE e Pipe.Social os caracteriza como empreendimentos com a "intenção clara de endereçar um problema socioambiental por meio de sua atividade principal", operando com "lógica de mercado" e buscando "retornos financeiros" (pág. 30). Essa dualidade converge diretamente com o propósito da Agenda 2030, que não vê o crescimento econômico como um fim em si mesmo, mas como um meio para alcançar a prosperidade compartilhada e o bem-estar social. A contribuição dos negócios de impacto para os ODS é direta e tangível, podendo ser observadas nesses negócios.

A Justa Trama, por exemplo, é uma cooperativa que organiza em rede a cadeia produtiva do algodão agroecológico, desde o plantio até a confecção de roupas e acessórios, baseando-se nos princípios da economia solidária e do comércio justo. Ao garantir remuneração justa para agricultores e costureiras, promover práticas de produção sustentáveis e fortalecer a autonomia dos trabalhadores, a Justa Trama contribui diretamente para o ODS 8 (Emprego digno e Crescimento Econômico), o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e o ODS 10 (Redução das Desigualdades).

No contexto do Rio Grande do Norte, a Rede Xique Xique articula mulheres agricultoras da agricultura familiar que atuam com base nos princípios da agroecologia e da economia solidária. Ao fortalecer a produção de alimentos saudáveis, criar canais de comercialização justa e promover a autonomia socioeconômica das mulheres do campo, a rede endereça múltiplos objetivos, como o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), o ODS 1 (Erradicação da Pobreza), o ODS 5 (Igualdade de Gênero) e o ODS 15 (Vida sobre a terra), por meio da adoção de práticas agrícolas que respeitam o bioma local.

Na área da educação, a academia de Robótica "Luciana Raposo" e iniciativas similares no estado, utilizam a tecnologia como ferramenta de transformação social. Ao oferecer cursos de robótica para crianças e adolescentes, esses negócios desenvolvem competências em ciência e tecnologia, estimulam o raciocínio lógico e o trabalho em equipe. Dessa forma, contribuem diretamente para o ODS 4 (Educação de Qualidade) e, ao buscar incluir jovens de diferentes contextos sociais, atuam na redução de desigualdades (ODS 10), além de fomentar a base para o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura).

A literatura reforça esse papel, posicionando esses negócios como uma resposta à crise ambiental e às desigualdades sociais, buscando uma "nova forma de se fazer negócios mais inclusivos e com mais propósito" (Barki, E; Comini, G. M; Torres, H. G., pág. 14).

3.2. O Papel Estratégico da UFRN no Fortalecimento do Ecossistema de Impacto

A Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) transcende seu papel tradicional de ensino e pesquisa, posicionando-se como uma instituição proativa no fomento ao desenvolvimento sustentável. Seu Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) 2020-2029 formaliza esse compromisso. A missão da UFRN é "educar, produzir e disseminar o saber universal [...] contribuindo para o desenvolvimento humano, comprometendo-se com a justiça social, a sustentabilidade socioambiental, a democracia e a cidadania" (pág. 19). Sua visão de futuro é ser uma "Universidade inovadora e inclusiva, socialmente referenciada" (pág. 21).

Essa diretriz estratégica se materializa em políticas específicas que fortalecem diretamente os negócios de impacto tais como: A Política de Extensão que visa promover a "interação transformadora entre a Instituição [...] e a sociedade" (pág. 97), fomentando o desenvolvimento de tecnologias sociais e a capacitação de agentes locais. A extensão universitária torna-se, assim, o principal canal para transferir conhecimento, oferecer assessoria e incubar novas ideias que podem se transformar em negócios de impacto; a universidade conta também com a Política de Inovação, a qual tem como objetivo explícito estimular o empreendedorismo universitário e ampliar a disseminação da inovação (PDI 2020-2029). A existência do Parque Tecnológico MetrÓpole Digital e das incubadoras da universidade cria a infraestrutura necessária para que startups de impacto possam nascer e se desenvolver com suporte técnico e científico.

Além dessas, a UFRN conta com a Política de Pesquisa, que incentiva pesquisas alinhadas ao desenvolvimento socioeconômico regional e o fortalecimento das políticas públicas, gerando o conhecimento de base que fundamenta o fomento às soluções inovadoras propostas pelos negócios de impacto, ponto este em que se encontra o estudo explicitado neste artigo. No mais, a universidade se compromete com a Responsabilidade Social, em seu PDI dedica um capítulo inteiro a este pilar, vinculando as ações da universidade aos ODS da Agenda 2030 e reafirmando seu papel como "instituição indutora do desenvolvimento local e regional" (pág. 107). A participação ativa da UFRN no Comitê Estadual de Investimentos e Negócios de Impacto Social (CENIS) é a expressão prática dessa visão, colocando a expertise acadêmica a serviço da formulação de políticas públicas.

3.3. Convergências com a Literatura e Políticas Públicas

Os resultados indicam uma forte convergência entre a prática no Rio Grande do Norte e os modelos teóricos e normativos analisados. A Lei Estadual nº 10.483/2019 e o Decreto Federal nº 11.646/2023 propõem a articulação entre governo, setor privado e sociedade civil. Este modelo espelha a abordagem de ecossistema descrita no livro "Negócios de impacto socioambiental no Brasil", que identifica a interação entre oferta de capital, demanda de capital (os negócios), intermediários e o governo como essencial para o desenvolvimento do campo. A atuação da UFRN, como um ator acadêmico que qualifica a demanda e fortalece os intermediários, valida a importância dessa estrutura colaborativa.

Os critérios para a qualificação de um Negócio de Impacto Social (NIS) previstos na lei potiguar (missão de impacto, sustentabilidade financeira) são consistentes com o "Filtro

Mínimo" de quatro critérios (Intencionalidade, Solução como Atividade Principal, Retorno Financeiro, Monitoramento de Impacto) detalhado no estudo do ICE e Pipe.Social (2019). Isso demonstra um alinhamento conceitual entre a política pública local e o entendimento consolidado pelo setor no Brasil.

A literatura aponta que os negócios de impacto enfrentam desafios como o "vale da morte" financeiro e a dificuldade de acesso a mercados, o termo é usado para descrever o estágio inicial crítico onde muitas startups falham por falta de capital, como podemos ver na página 44 do livro “Negócios de impacto socioambiental no Brasil: como empreender, financiar e apoiar”:

O segundo Mapa de negócios de impacto, com dados de 1.002 empreendimentos, mostra que 64% dos negócios de impacto estão buscando captar até R\$ 500 mil, o que reforça as preocupações com o estágio conhecido como vale da morte, em que os negócios estão validando seu modelo mas o fluxo de caixa ainda é baixo (ou inexistente). A falta de apoio pode levar à descontinuidade das operações. E se não tivermos muitos negócios ultrapassando o vale da morte, o campo dos investimentos e negócios de impacto terá desafios para se tornar mainstream (BARKI, E.; COMINI, G. M.; TORRES, H. G. 2019).

Tanto a Lei Estadual quanto o Decreto Nacional buscam endereçar esses pontos por meio da ampliação da oferta de capital e do fomento a organizações intermediárias (aceleradoras, incubadoras). O PDI da UFRN (2020-2029) responde diretamente a essa necessidade ao prever o fortalecimento de suas incubadoras. O Estado do RN em articulação com o Comitê Estadual de Investimento em Negócios de Impacto, tenta também implantar políticas de compras públicas. Essa abordagem utiliza o poder de compra do governo não apenas para adquirir produtos e serviços, mas também para gerar, intencionalmente, resultados sociais e ambientais positivos.

Quando essa política é direcionada para o impacto, ela passa a incluir critérios socioambientais nos processos de licitação, deixando de priorizar apenas o menor preço e passando a valorizar o benefício que a contratação pode trazer para a sociedade. Para um negócio de impacto, especialmente em estágio inicial, um contrato com o governo representa uma fonte de receita robusta e previsível. Isso é crucial para superar o "vale da morte", garantindo sua sobrevivência e permitindo que reinvestam em sua operação e na ampliação do impacto, pois ao comprar de um negócio de impacto, o governo está terceirizando a solução de um problema público de forma inovadora. Em vez de apenas comprar um serviço, ele "compra" o impacto social atrelado a ele. Por exemplo, uma prefeitura que contrata uma empresa para gerir resíduos sólidos que emprega catadores de recicláveis está, simultaneamente, resolvendo um problema ambiental e promovendo inclusão social e geração de renda.

Apesar do enorme potencial, a literatura aponta desafios significativos para a implementação, como a rigidez dos processos de licitação, a cultura de aversão ao risco por parte dos gestores públicos e o receio de questionamentos por parte dos órgãos de controle. Como podemos ler no seguinte trecho:

A área de compras governamentais é bastante complexa e, geralmente, muito resistente a inovações, porque envolve muitos recursos financeiros e os agentes públicos possuem bastante receio das fiscalizações dos órgãos de controle. Assim, muitos tomadores de

decisão não sabem como contratar algo que nunca foi contratado antes e isso é um grande obstáculo para os negócios de impacto. Mas há avanços recentes no Brasil e que podem ajudar no exponencial aumento no volume de compras públicas. Nesse sentido, as chamadas compras públicas sustentáveis podem ensinar às demais áreas da administração pública (BARKI, E.; COMINI, G. M.; TORRES, H. G. (org), pág. 65, 2019).

Superar essas barreiras é fundamental para que as compras públicas se consolidem como um poderoso instrumento de transformação social e ambiental no Rio Grande do Norte.

No estado, temos duas leis que podem servir de exemplo para novas normativas, são elas a Lei Nº 10.536/2019 (PECAFES) e Nº 11.363/2023 (Economia Solidária Têxtil). As duas leis criam programas que utilizam o poder de compra do Estado para fomentar dois setores específicos: a agricultura familiar e a economia solidária.

Elas compartilham uma estrutura muito similar, que pode ser replicada para abranger outros tipos de negócios de impacto. Os elementos-chave são formados por uma definição clara do beneficiário, quotas de mercado, processo de compra simplificado via chamada pública e governança participativa. Ambas as leis definem claramente quem está apto a participar. O PECAFES se baseia na Lei Federal da Agricultura Familiar e na Lei Estadual da Economia Solidária, enquanto a lei do setor têxtil foca apenas nos Empreendimentos de Economia Solidária. Ambas as leis determinam que um mínimo do total de recursos destinados à compra de produtos em seus respectivos setores (alimentos e têxteis) devem ser adquiridos dos empreendimentos beneficiados.

Outro ponto importante é que as leis inovam ao fugir do modelo tradicional de licitação, que, como mencionado anteriormente, é complexo e muitas vezes inacessível para pequenos produtores. Elas instituem a modalidade de compra Direta por meio de Chamadas Públicas. A Chamada Pública é um processo simplificado onde o órgão governamental anuncia sua necessidade de compra e os empreendimentos qualificados apresentam suas propostas. Isso democratiza o acesso aos contratos públicos. Este é o mecanismo mais crucial a ser replicado ao implementar esse tipo de normativa voltada para comprar de negócios de impacto. Uma nova lei deve permitir que o Estado contrate negócios de impacto certificados por meio de chamadas públicas, reduzindo a burocracia e permitindo que startups e pequenas empresas possam competir e se tornar fornecedoras do governo.

3.4. Desafios e Aprendizados

Apesar do arcabouço normativo e institucional favorável, a participação nos grupos de trabalho do CENIS revelou desafios práticos. Embora a política vise "ampliar a oferta de capital", o acesso a recursos, especialmente capital semente (capital inicial para impulsionar os primeiros passos dos empreendimentos) continua sendo o principal gargalo para os empreendedores. O "vale da morte", discutido em "Negócios de impacto socioambiental no Brasil: como empreender, financiar e apoiar" é uma realidade presente no estado.

Outro ponto desafiador é a mensuração do impacto, apesar de o compromisso com o monitoramento ser critério fundamental, representa também um desafio técnico e financeiro para novos e pequenos empreendimentos. Desenvolver metodologias de

avaliação que sejam ao mesmo tempo rigorosas e acessíveis é uma necessidade ainda não resolvida. É necessário investimento do governo e estudos acadêmicos que articulem como mitigar esse problema, seja com a criação de ferramentas de mensuração e acompanhamento ou com a capacitação de profissionais especializados em monitoramentos de impactos ambientais e sociais por parte de empreendimentos. Em concordância com o exposto anteriormente e com base no papel da Universidade, nota-se que a disseminação de uma cultura de impacto para além de um nicho de iniciados e a formação de empreendedores com as competências híbridas necessárias (gestão de negócios e visão social) continuam sendo um desafio, no qual a universidade tem um papel fundamental.

O principal aprendizado é que a existência de leis e decretos, embora essencial, não é suficiente, mas isso não diminui a importância de novas leis e decretos, porém não pode-se basear apenas em normativas, deve ser estimulado e nutrido nos jovens, estudantes e empreendedores a determinação para continuar transformando as realidades, deve-se apoiar, fomentar e impulsionar iniciativas e ideias empreendedoras de impacto, evitando que esses negócios percam estímulo e investimento. O avanço real do ecossistema depende da efetivação da parceria prevista no ODS 17, onde a colaboração contínua entre academia (UFRN), governo (políticas estaduais) e o setor privado (empreendedores e investidores) se traduz em ações concretas e na superação conjunta dos desafios.

Conclusão

Este estudo teve como objetivo refletir sobre como o fomento aos negócios de impacto, do qual UFRN é um agente, em consonância com políticas públicas, pode impulsionar o desenvolvimento de uma economia regenerativa e circular no Rio Grande do Norte. A análise demonstrou a existência de um arcabouço teórico, normativo e institucional coeso que posiciona os negócios de impacto como vetores estratégicos para a consecução de uma economia voltada ao desenvolvimento sustentável no estado.

A pesquisa evidenciou que os negócios de impacto não são apenas um modelo empresarial alternativo, mas uma resposta pragmática ao chamado da Agenda 2030 por uma ação colaborativa para resolver os desafios mais urgentes da humanidade. Eles representam a instrumentalização da força de mercado para gerar valor social e ambiental, alinhando o crescimento econômico à erradicação da pobreza e a proteção do planeta.

A Lei Estadual nº 10.483/2019 e o Decreto Federal nº 11.646/2023 fornecem a legitimidade e as diretrizes para que esse modelo floresça, enquanto o PDI da UFRN demonstra o compromisso de uma instituição-chave em nutrir esse ecossistema com conhecimento, inovação e capital humano.

Reforça-se, portanto, a importância dos negócios de impacto como uma estratégia central para o desenvolvimento sustentável. Eles traduzem a ambição global dos ODS em soluções locais, escaláveis e financeiramente viáveis. A experiência do Rio Grande do Norte, com sua política pioneira e a participação ativa da UFRN, serve como um modelo

promissor de como a articulação entre academia, governo e sociedade civil é fundamental para criar as condições necessárias para essa nova economia.

Para a continuidade deste trabalho, sugerem-se os seguintes caminhos: realizar estudos de caso aprofundados com negócios de impacto potiguares para avaliar, na prática, os efeitos das políticas de fomento e do apoio universitário em seu desenvolvimento e na geração de impacto. Além do desenvolvimento de métricas para fomentar pesquisas aplicadas, em parceria com a UFRN e os empreendedores, para criar ferramentas de mensuração de impacto adaptadas à realidade local, que sejam acessíveis e eficazes. Além do mais, é possível seguir para uma análise de Políticas de Compras, investigar e propor mecanismos específicos de compras públicas e de inserção em cadeias de valor privadas que possam ser implementados no estado para superar o desafio de acesso ao mercado.

Conclui-se que, embora desafios significativos como o financiamento e a mensuração de impacto persistam, o Rio Grande do Norte está construindo uma base sólida e escalável para que os negócios de impacto se tornem protagonistas na jornada rumo a um futuro que seja economicamente sustentável e justo.

Referências

BARKI, E.; COMINI, G. M.; TORRES, H. G. (org). **Negócios de impacto socioambiental no Brasil: como empreender, financiar e apoiar**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2019.

BRASIL. **Decreto nº 11.646, de 14 de agosto de 2023**. Institui a Estratégia Nacional de Economia de Impacto e o Comitê de Economia de Impacto. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 ago. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11646.htm. Acesso em: 19 de maio de 2025.

INSTITUTO DE CIDADANIA EMPRESARIAL; PIPE.SOCIAL (2019). **O que são negócios de impacto: características que definem empreendimentos como negócios de impacto**. São Paulo: ICE; Pipe.Social. Disponível em: <https://www.pipesocial.com.br>. Acesso em: 19 de maio de 2025.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 10.483, de 4 de fevereiro de 2019**. Institui a Política Estadual de Investimentos e Negócios de Impacto Social. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte, Natal, 4 fev. 2019. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/rn/lei-ordinaria-n-10483-2019-rio-grande-do-norte-institui-a-politica-estadual-de-investimentos-e-negocios-de-impacto-social>. Acesso em: 19 de maio de 2025.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). **Lei nº 11.363, de 17 de janeiro de 2023**. Institui o Programa Estadual de Compras Governamentais da Economia Solidária no âmbito do Estado do Rio Grande do Norte e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 18 jan. 2023. p. 4.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). **Lei nº 10.536, de 3 de julho de 2019.** Cria o Programa Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária (PECAFES) no Estado do Rio Grande do Norte e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 5 jul. 2019. p. 1.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE (2021). **Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) 2020–2029.** Natal: UFRN. Disponível em: <https://info.ufrn.br>. Acesso em: 19 de maio de 2025.

CÓDIGO: ET0133

AUTOR: MARCELO GABRIEL DE MORAIS FERREIRA

ORIENTADOR: IVANOVITCH MEDEIROS DANTAS DA SILVA

TÍTULO: Desenvolvimento de uma Arquitetura de Engenharia de Dados para Monitoramento de Poluição Veicular Utilizando Sensores Automotivos

Resumo

A Indústria 4.0 está revolucionando o setor automotivo, principalmente através da Internet das Coisas (IoT), onde sistemas e veículos se comunicam entre si. No ambiente da Internet dos Veículos Inteligentes (IoIV), isso permite coletar dados massivos, mas um desafio persiste, como aproveitar informações qualitativas. Este projeto aborda essa questão, propondo uma arquitetura de engenharia de dados que utiliza Reconhecimento Automático de Fala (ASR) para converter relatos verbais de motoristas sobre problemas veiculares em dados textuais estruturados, otimizando o diagnóstico. A metodologia consistiu na avaliação comparativa entre a API Google Speech-to-Text e o modelo local Faster Whisper, sobre 40 amostras de áudio em português. Para a análise quantitativa, foram utilizadas as métricas de Taxa de Erro de Palavra (WER) e BERTScore, com esta última sendo aprimorada pelo modelo especialista BERTimbau. Os resultados apontaram a superioridade do Google Speech-to-Text, com um WER de 9.25% contra 15.50% do modelo local. A análise qualitativa também revelou que o Faster Whisper era mais suscetível a erros graves de "alucinação", enquanto o Google Speech era mais suscetível a erros de omissão. Notavelmente, em um teste funcional, o sistema de busca semântica implementado atingiu 100% de sucesso na obtenção da resposta correta com as transcrições de ambos os modelos, validando a viabilidade da arquitetura proposta.

Palavras-chave: Engenharia de Dados; Poluição Veicular; ASR; IoIV.

TITLE: Development of a Data Engineering Architecture for Vehicle Pollution Monitoring Using Automotive Sensors

Abstract

Industry 4.0 is revolutionizing the automotive sector through the Internet of Things (IoT), where systems and vehicles intercommunicate. In the Internet of Intelligent Vehicles (IoIV) environment, this enables massive data collection, but the challenge of leveraging qualitative information persists. This project addresses this issue by proposing a data engineering architecture that utilizes Automatic Speech Recognition (ASR) to convert drivers' verbal reports about vehicle problems into structured textual data, optimizing diagnostics. The methodology involved a comparative evaluation

between the Google Speech-to-Text API and the local Faster Whisper model, using 40 audio samples in Portuguese. For the quantitative analysis, Word Error Rate (WER) and BERTScore metrics were employed, with the latter being enhanced by the specialist BERTimbau model. The results showed the consistent superiority of Google Speech-to-Text, which had a WER of 9.25% against the local model's 15.50%. The qualitative analysis also revealed that Faster Whisper was more susceptible to severe "hallucination" errors, while Google Speech was more prone to omission errors. Notably, in a functional test, the implemented semantic search system achieved 100% success in identifying the correct response from the transcriptions of both models, validating the viability of the proposed architecture.

Keywords: Data Engineering; Vehicle Pollution; ASR; IoIV.

Introdução

A transição para a Indústria 4.0 está redefinindo o setor automotivo por meio da integração de tecnologias avançadas e da análise de dados em tempo real. No ambiente da Internet dos Veículos Inteligentes (IoIV), esta transformação permite a coleta e o processamento de um volume massivo de dados provenientes de múltiplos sensores, abrindo novas fronteiras para aplicações inovadoras. Uma das áreas mais impactadas por esta revolução, e que demanda atenção, é o monitoramento da poluição veicular, uma iniciativa para o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis. Este projeto justifica-se, portanto, pela necessidade de criar soluções tecnológicas que não apenas monitorem, mas contribuam ativamente para a mitigação do impacto ambiental do transporte, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU como a Ação Climática (ODS 13) e Cidades e Comunidades Sustentáveis (ODS 11) (NAÇÕES UNIDAS, 2015). Deste modo, o núcleo deste trabalho reside na coleta e análise de dados de sensores de diagnóstico on-board (OBD-II), GPS e acelerômetros, que fornecem uma visão quantitativa e contínua do comportamento e das emissões do veículo. Como componente inovador, este projeto introduz a análise de dados de áudio, convertendo relatos verbais de motoristas sobre problemas mecânicos, associados a um aumento nas emissões em dados textuais acionáveis. Nesse contexto, a captura desses relatos torna-se importante. Para tal, foi realizada uma análise comparativa de tecnologias de Reconhecimento Automático de Fala (ASR), avaliando o desempenho de modelos locais, como o Faster Whisper, baseado na arquitetura Whisper (RADFORD et al., 2023), e soluções baseadas em nuvem, como o Google Speech-to-Text (GOOGLE, 2024), para garantir a máxima precisão na digitalização desta fonte de dados. Para gerenciar e orquestrar o volume desses dados multimodais (sensores e áudio), o projeto implementa uma arquitetura de engenharia de dados moderna e escalável. A solução utiliza ferramentas como Node-RED para a orquestração de fluxos, FastAPI para a criação de APIs eficientes, e Apache Kafka como um barramento de mensagens para processamento em tempo real, garantindo um design robusto e resiliente. O armazenamento e a análise de dados históricos são gerenciados pelo TimescaleDB, um banco de dados otimizado para séries temporais, com toda a solução encapsulada em contêineres Docker (DOCKER, 2024) para assegurar portabilidade e escalabilidade.

Metodologia

A metodologia para o desenvolvimento e validação da arquitetura de engenharia de dados foi dividida em fases sequenciais e iterativas, com o objetivo de garantir a reprodutibilidade dos experimentos. A arquitetura geral da solução foi projetada para ser escalável e modular. As APIs para ingestão de dados foram desenvolvidas com FastAPI, enquanto a orquestração de fluxos de dados em tempo real foi planejada com Apache Kafka. Para armazenamento, foi selecionado o TimescaleDB, e toda a infraestrutura foi projetada para ser encapsulada em contêineres Docker. Para a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial, utilizou-se o Visual Studio Code como ambiente de desenvolvimento e a linguagem de programação Python (versão 3.10), com o gerenciamento de dependências através de um ambiente virtual (venv). As principais bibliotecas utilizadas foram transformers, torch, sentence-transformers, scikit-learn, jiwer e bert-score, além da biblioteca google-cloud-speech. Deste modo, para selecionar a tecnologia de Reconhecimento Automático de Fala (ASR) mais precisa, foi realizada uma avaliação comparativa entre a API Google Speech-to-Text (modelo latest_short) e o modelo local Faster Whisper (baseado no whisper-small da OpenAI). As métricas de avaliação utilizadas foram a Taxa de Erro de Palavra (WER) e o BERTScore, com o modelo de linguagem BERTimbau para uma avaliação semântica mais precisa em português. Uma função de normalização foi aplicada a todos os textos para garantir uma comparação justa. O conjunto de dados consistiu em 40 áudios no formato .opus, representando dez queixas comuns de motoristas. Para interpretar a transcrição e fornecer uma resposta adequada, foi implementado um sistema de busca semântica, que utiliza o modelo SentenceTransformer (paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2) para converter os textos em vetores e, em seguida, calcula a similaridade de cosseno para encontrar a pergunta mais relevante em uma base de conhecimento pré-definida.

Resultados e Discussões

Após a arquitetura para coleta dos dados estar pronta, focou na análise de desempenho dos modelos de transcrição que foi conduzida de forma para garantir a reprodutibilidade dos experimentos, utilizando um corpus de 40 amostras de áudio e as métricas de WER e BERTScore. Os resultados quantitativos, apresentados na Tabela 1, indicam a superioridade consistente do modelo Google Speech-to-Text. Tabela 1: Média das Taxas de Erro (%) para 40 Amostras de Áudio | Métrica de Erro | Faster Whisper (Local) | Google Speech-to-Test (Nuvem) | |---|:---|:---| | WER (Erro Lexical) | 15.50% | 9.25% | | BERTScore (Padrão) | 4.97% | 3.04% | | BERTScore (BERTimbau) | 5.07% | 3.30% | Na análise de precisão lexical, o Google Speech (9.25%) superou o Faster Whisper (15.50%), evidenciando a menor necessidade de correções literais. Essa vantagem se manteve nas avaliações semânticas, onde o Google Speech demonstrou menor taxa de erro tanto com o BERTScore padrão quanto com o especializado BERTimbau. A análise qualitativa dos erros, que complementa os dados quantitativos, revelou padrões distintos. O Google Speech demonstrou maior tendência a erros de omissão, que geralmente não comprometem o significado da frase. Já o Faster Whisper apresentou erros de "alucinação", que, embora menos frequentes, impactaram a confiabilidade por alterarem drasticamente o sentido da transcrição. Além disso, a performance em tempo real mostrou que a API do Google é mais rápida, com tempo de resposta de 2 a 4 segundos, contra 8 a 12 segundos do Faster Whisper na mesma máquina. Essa avaliação também permitiu validar a metodologia e as ferramentas

utilizadas. A adoção do BERTimbau, treinado em português, foi importante para corrigir as falhas da métrica padrão, que penalizava variações coloquiais. Além disso, a função de normalização dos textos se mostrou essencial para uma comparação justa, focando no conteúdo em vez da formatação. Para validar a eficácia das transcrições no objetivo final do projeto, foi realizado um teste funcional com o sistema de busca semântica, baseado no modelo SentenceTransformer. Inicialmente, falhas na correspondência de algumas amostras foram identificadas e rastreadas até a diferença entre a linguagem coloquial dos áudios e a formalidade da base de conhecimento. Para resolver este problema, a base de conhecimento foi refinada com a inclusão de variações coloquiais. Após esse ajuste, todas as transcrições geradas pelos modelos de ASR, tanto Google Speech-to-Text quanto Faster Whisper, foram capazes de encontrar a resposta correta, resultando em uma taxa de sucesso funcional de 100% para o corpus de teste. Isso valida a arquitetura e demonstra que a precisão da transcrição, mesmo em níveis distintos entre os modelos, foi suficiente para o sistema de busca semântica alcançar o resultado esperado.

Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo avaliar diferentes tecnologias de Reconhecimento Automático de Fala (ASR) para a implementação de uma arquitetura de monitoramento de problemas veiculares. Os testes demonstraram a superioridade consistente do serviço em nuvem Google Speech-to-Test sobre o modelo local Faster Whisper, apresentando taxas de erro significativamente menores tanto na precisão lexical (WER) quanto na semântica (BERTScore). A análise qualitativa revelou que os erros do modelo local eram mais graves, incluindo "alucinações" que comprometiam o sentido, enquanto os erros do serviço em nuvem eram de menor impacto. Contudo, a robustez do sistema de busca semântica permitiu que, após refinamentos na base de conhecimento, ambas as fontes de transcrição levassem à resposta correta em 100% dos casos, validando a viabilidade da arquitetura proposta. Adicionalmente, o estudo reforçou a importância de uma metodologia de avaliação aprimorada, onde a implementação da normalização de texto e o uso de um modelo de linguagem especialista (BERTimbau) se mostraram importantes para uma análise precisa. Portanto, diante dos resultados apresentados, recomenda-se a adoção do Google Speech-to-Test como a solução primária para aplicações onde se pode garantir uma conexão estável com a internet, devido à sua maior precisão e confiabilidade. Contudo, para cenários de uso offline ou com conectividade instável, o Faster Whisper se apresenta como uma alternativa viável que, apesar da menor precisão nas transcrições, se mostrou eficaz para o funcionamento do sistema de busca semântica após o devido tratamento dos dados. Trabalhos Futuros Adicionalmente, esta pesquisa abre diversos caminhos para trabalhos futuros. Recomenda-se a avaliação do desempenho dos modelos locais em hardware mais potente, especialmente com o uso de uma GPU, para analisar os ganhos de velocidade e precisão. Outro foco promissor seria a implementação da arquitetura em um sistema embarcado, aproximando a solução de um produto final para uso em veículos. Por fim, a contínua expansão e o refinamento da base de conhecimento do sistema de busca semântica são fundamentais para a evolução e aprimoramento contínuo do projeto.

Referências

Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C., & Sutskever, I. (2023). Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision. Artigo científico disponível em: <https://arxiv.org/abs/2212.04356> Zhang, T., Kishore, V., Wu, F., Weinberger, K. Q., & Artzi, Y. (2019). BERTScore: Evaluating Text Generation with BERT. Artigo científico disponível em: <https://arxiv.org/abs/1904.09675> Reimers, N., & Gurevych, I. (2019). Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. Artigo científico disponível em: <https://arxiv.org/abs/1908.10084> BERTimbau (para a Métrica BERTScore Treinado): NeuralMind. (2020). BERTimbau: Pretrained BERT models for Brazilian Portuguese. Hugging Face Model Hub. <https://huggingface.co/neuralmind/bert-base-portuguese-cased> SentenceTransformer (para o Sistema de busca semântica): SentenceTransformers. Model: paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2. Hugging Face Model Hub. <https://huggingface.co/sentence-transformers/paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2> Google. (2024). Speech-to-Text Documentation. Google Cloud. <https://cloud.google.com/speech-to-text/docs> Guillaumier, S. (2023). Faster Whisper. Repositório GitHub. <https://github.com/SYSTRAN/faster-whisper> Wolf, T., et al. (2020). Transformers: State-of-the-Art Natural Language Processing. Repositório GitHub. <https://github.com/huggingface/transformers> Compaa, J. (2024). Jiwer: Evaluate your speech-to-text system. Repositório GitHub. <https://github.com/jitsi/jiwer> FFmpeg team. (2024). FFmpeg Multimedia Framework. Site Oficial. <https://ffmpeg.org/> Python Software Foundation. (2024). Python Language Reference. Site Oficial. <https://www.python.org/downloads/release/python-31011/> Tiangolo, S. (2024). FastAPI Documentation. <https://fastapi.tiangolo.com/> Docker, Inc. (2024). Docker Documentation. <https://docs.docker.com/>

Anexos

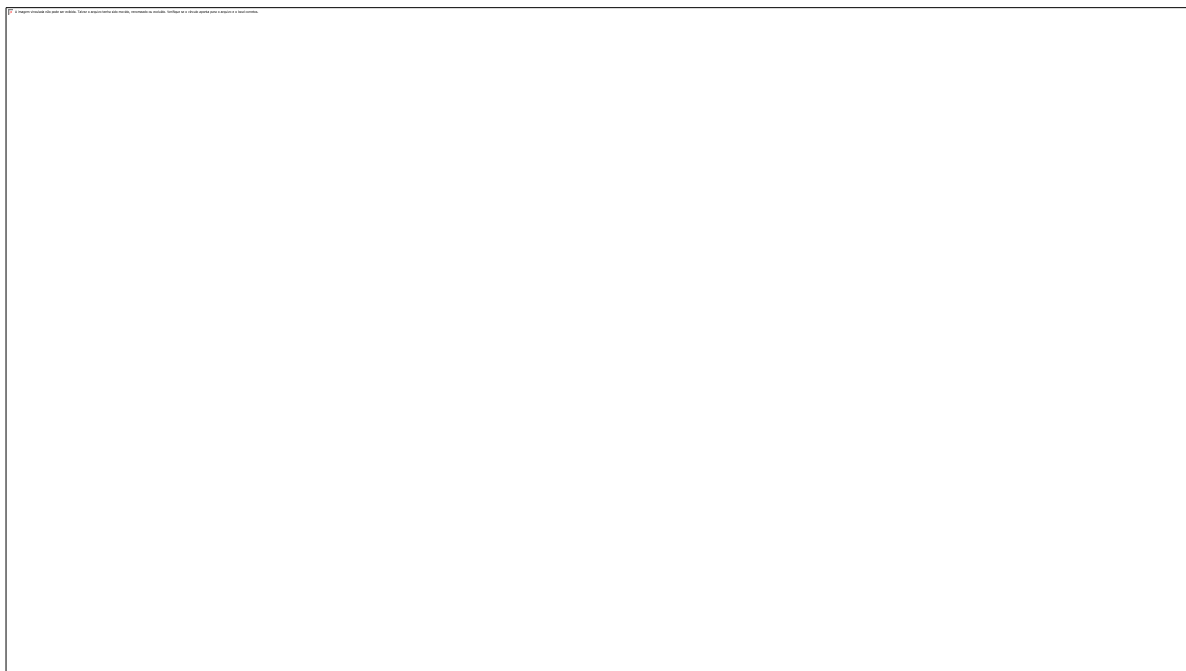


Tabela dos Resultados Métricas

CÓDIGO: ET0135

AUTOR: STEPHANY RODRIGUES VIEIRA

ORIENTADOR: FABIO MENEGHETTI UGULINO DE ARAUJO

TÍTULO: Desenvolvimento de um Protótipo de Controlador de Carga para Teste de Estratégias MPPT

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo, o dimensionamento e a implementação experimental de um Conversor SEPIC (*Single-Ended Primary Inductor Converter*) aplicado a sistemas fotovoltaicos. A revisão da literatura abordou diferentes topologias de conversores CC-CC, como *Buck*, *Boost* e *Buck-Boost*, cujas limitações motivaram a escolha do SEPIC devido à sua capacidade de operar na elevação e na redução da tensão de entrada, característica essencial para as variações de irradiância solar. Com base na topologia selecionada, os componentes foram calculados e dimensionados, seguido do desenvolvimento de um modelo computacional no *software LTspice*. As simulações confirmaram o comportamento esperado do conversor nos modos Buck e Boost. Posteriormente, foi construído um protótipo físico para testes práticos, que validaram o funcionamento da topologia. O conversor demonstrou potencial para aplicação em sistemas fotovoltaicos, apresentando-se como uma alternativa promissora para futuras integrações com algoritmos de rastreamento de máxima potência (MPPT), como lógica *fuzzy* e redes neurais.

Palavras-chave: Conversores CC-CC, SEPIC, Sistemas Fotovoltaicos, MPPT.

TITLE: Development of a Charge Controller Prototype for Testing MPPT Strategies

Abstract

This work presents the study, design, and experimental implementation of a SEPIC (*Single-Ended Primary Inductor Converter*) for photovoltaic systems. The literature review evaluated various CC-CC converter topologies, such as Buck, Boost, and Buck-Boost, and their limitations led to the selection of the SEPIC due to its ability to both step up and step down the input voltage. This feature is essential for accommodating variations in solar irradiance. A computational model was developed using LTspice to calculate and size the components. Simulations confirmed the converter's expected behavior in both Buck and Boost modes. Subsequently, a physical prototype was built for experimental validation, demonstrating the topology's operational principles. The converter proved its potential for use in photovoltaic systems, emerging as a promising alternative for future

integration with Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms, including fuzzy logic and neural networks.

Keywords: DC-DC Converters, SEPIC, Photovoltaic Systems, MPPT.

Introdução

A busca e a adoção de fontes de energia renovável têm crescido exponencialmente, impulsionadas pela crescente conscientização sobre os impactos negativos do uso contínuo de recursos fósseis e das mudanças climáticas. Nesse cenário, a energia solar fotovoltaica emerge como uma das principais soluções para diversificar a matriz energética global.

Em 2020, a capacidade total de energia fotovoltaica instalada no mundo alcançou 710 GW, sendo que 125 GW foram adicionados apenas naquele ano, tornando-a a fonte de energia renovável com o maior crescimento (IRENA n.d.). De acordo com o relatório World Energy Outlook de 2023, a capacidade de energia solar fotovoltaica deve aumentar significativamente, com um acréscimo de mais de 500 GW em 2023. A projeção é que a energia solar, sozinha, seja responsável por mais da metade da nova capacidade de geração de energia renovável até 2030 (Agency 2023).

Apesar dos avanços, a tecnologia fotovoltaica ainda apresenta limitações, principalmente relacionadas à baixa eficiência de conversão das células, que pode ser ainda mais reduzida devido às variações climáticas e ao ponto de operação do sistema. Diante disso, torna-se fundamental a adoção de soluções que permitam maximizar a potência extraída dos módulos, sendo os conversores de potência uma das alternativas mais utilizadas (Mata 2025).

Os conversores CC-CC são circuitos eletrônicos usados para regular a tensão de saída a partir de uma fonte não regulada e também para alcançar o ponto de máxima potência (Perdoncini 2015). Corroborando com essa ideia, [Sousa 2019] comenta que os conversores CC-CC são dispositivos que transferem potência entre uma fonte e uma carga em corrente contínua (CC), sendo amplamente utilizados em diversas aplicações.

Existem diversas topologias de conversores CC-CC não isolados, sendo as mais comuns: *Buck*, *Boost*, *Buck-Boost*, *Cúk*, SEPIC e Zeta (Sousa 2019). Embora cada uma apresente vantagens, elas também possuem limitações quando submetidas às variações dinâmicas de tensão dos módulos.

Nesse contexto, o conversor SEPIC (*Single-Ended Primary Inductor Converter*) se destaca por sua capacidade de operar como elevador e rebaixador de tensão, por reduzir as oscilações na corrente de entrada e por fornecer uma tensão de saída não inversora (Ianiski et al.).

O presente trabalho tem como objetivo principal o dimensionamento, a simulação e a validação experimental de um conversor SEPIC aplicado a sistemas fotovoltaicos. Para tanto, realizou-se, inicialmente, uma revisão das principais topologias de conversores CC-

CC, justificando, a partir dessa análise, a escolha da topologia SEPIC para o desenvolvimento do protótipo.

Metodologia

A metodologia deste trabalho pautou-se em uma abordagem experimental, que compreendeu a simulação computacional, o dimensionamento de componentes e a validação por meio de um protótipo físico. O objetivo foi avaliar o desempenho de diferentes topologias de conversores CC-CC aplicados ao controle de carga em sistemas fotovoltaicos.

2.1 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica constituiu uma etapa essencial para fundamentar teoricamente o presente estudo, garantindo a atualização e a profundidade necessárias ao desenvolvimento do projeto. Para isso, foram estabelecidos critérios rigorosos na seleção e análise das fontes consultadas.

Inicialmente, definiu-se um conjunto de palavras-chave relacionadas ao escopo da pesquisa: "sistemas fotovoltaicos", "controladores de carga", "estratégias de MPPT", "conversores CC-CC", *Buck*, *Boost*, *Buck-Boost*, inversor e SEPIC.

Essas expressões foram usadas para realizar buscas sistemáticas em bases de dados científicas reconhecidas internacionalmente, como a *IEEE Xplore* e o *Google Scholar*, abrangendo artigos, dissertações, teses e documentos técnicos relevantes. A delimitação temporal da pesquisa concentrou-se no período entre 2015 e 2024, com o objetivo de incorporar os avanços e as tendências tecnológicas mais recentes na área de sistemas fotovoltaicos e controle de energia.

A análise crítica dos documentos selecionados teve como objetivos centrais:

- Caracterizar as principais topologias de conversores CC-CC aplicáveis a sistemas fotovoltaicos, destacando suas características operacionais, vantagens e limitações.
- Avaliar as técnicas de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT), identificando suas estratégias de implementação e desempenho.
- Levantar critérios e parâmetros para o dimensionamento adequado dos componentes eletrônicos.
- Analisar metodologias experimentais e simulações desenvolvidas, com o objetivo de fundamentar a modelagem e o desenvolvimento do protótipo experimental.

A revisão bibliográfica também possibilitou a identificação de lacunas e oportunidades de pesquisa, o que justifica a relevância e a originalidade deste estudo. Todo o material selecionado foi sistematizado e organizado em uma base de dados pessoal, facilitando a gestão das referências e a elaboração do relatório e de trabalhos científicos derivados.

2.2 Simulações Computacionais

As simulações computacionais foram uma etapa preliminar fundamental para a análise e validação das topologias de conversores CC-CC selecionadas, permitindo a antecipação do comportamento elétrico e dinâmico dos sistemas antes da implementação prática. Com base no estudo teórico, foram desenvolvidos modelos para quatro topologias distintas de conversores:

- *Buck*
- *Boost*
- *Buck-Boost* inversor
- SEPIC

O *software* escolhido para as simulações foi o *LTspice*, uma ferramenta reconhecida pela sua precisão e flexibilidade na análise de circuitos eletrônicos de potência.

Cada modelo de conversor foi desenvolvido com base nas especificações típicas de sistemas fotovoltaicos, incluindo faixas de tensão e corrente que simulam condições reais de operação, como variações de irradiância solar e de carga. As simulações permitiram observar aspectos cruciais, como a resposta transitória, a estabilidade do sistema, a eficiência de conversão e o comportamento diante de variações de carga e de entrada.

Além disso, as análises incluíram o estudo das formas de onda das tensões e correntes nos principais componentes, o que possibilitou a identificação de possíveis pontos de perda de energia e instabilidades que poderiam comprometer o desempenho do sistema.

Os resultados obtidos com as simulações subsidiaram o dimensionamento dos componentes eletrônicos e serviram de base para a seleção da topologia a ser implementada no protótipo experimental.

2.3 Protótipo

2.3.1 Dimensionamento dos Componentes

O dimensionamento dos componentes eletrônicos foi realizado com base nos resultados das simulações computacionais e nas especificações do módulo fotovoltaico utilizado no projeto. A Tabela 1 apresenta as características do módulo fotovoltaico.

Inicialmente, foram estudadas e simuladas três topologias de conversores CC-CC: *Buck*, *Boost*, *Buck-Boost* inversor e SEPIC. Durante o desenvolvimento, observou-se que o conversor SEPIC era o mais adequado para as condições e objetivos do projeto. Isso se deve principalmente à sua capacidade de elevar ou reduzir a tensão de entrada, o que permite uma melhor adaptação às variações de irradiância e a operação sob diferentes condições de iluminação.

Após a escolha do SEPIC como topologia principal, os componentes para a montagem do protótipo foram dimensionados, utilizando as equações e critérios técnicos. culminando nos valores apresentados na Tabela 2.

2.3.2 Montagem do Protótipo

O protótipo experimental foi montado em protoboard, de forma modular, para facilitar ajustes e substituições de componentes durante os testes. Para a montagem, foram utilizados os seguintes itens:

- Fonte de bancada: usada como substituto controlado para o módulo fotovoltaico, permitindo variações precisas de tensão e corrente.
- Microcontrolador Arduíno: utilizado para a execução das rotinas de controle e coleta de dados.
- Componentes eletrônicos: dimensionados na etapa prévia do projeto.

O circuito montado está representado na Figura 1.

2.4 Testes Experimentais

Os testes do conversor foram realizados variando os parâmetros de entrada e carga para observar seu comportamento elétrico. Os principais aspectos avaliados incluíram:

- Eficiência de conversão.
- Estabilidade de operação sob variações de carga.
- Tempo de resposta a mudanças de tensão de entrada.
- Comportamento térmico dos componentes de potência.

Os dados coletados foram registrados para análise comparativa, o que permitiu identificar as vantagens e limitações de cada configuração.

Resultados e Discussões

Nesta seção, os resultados serão apresentados em duas partes: primeiro, as simulações, e, em seguida, os testes com o protótipo físico. Essa abordagem cria uma narrativa clara, demonstrando como a teoria foi aplicada na prática.

3.1 Resultados das Simulações Computacionais

O *software LTspice* foi utilizado para modelar o circuito do conversor SEPIC e simular suas características operacionais, conforme mostrado na Fig.2. As simulações permitiram verificar a capacidade do conversor de regular a tensão de saída a partir da variação do ciclo de trabalho (*duty cycle*).

Foram realizadas simulações com diferentes valores de tensão de entrada, analisando o comportamento da tensão de saída em cada modo de operação.

No modo *Buck* (redução), observou-se que a tensão de saída permaneceu abaixo da tensão de entrada quando o *duty cycle* foi ajustado para valores inferiores a 50%, o que confirma o comportamento teórico esperado. Em um dos cenários simulados, a tensão de saída foi regulada para aproximadamente 4,2 V com uma tensão de entrada de 10 V, conforme ilustrado na Figura 3.

No modo *Boost* (elevação), ao configurar o *duty cycle* para valores acima de 50%, a tensão de saída aumentou em relação à de entrada, o que confirma o comportamento esperado. A Figura 1 apresenta um exemplo da simulação, onde a tensão de saída foi elevada para aproximadamente 15 V para uma entrada de 10 V.

Os resultados obtidos confirmaram o funcionamento ideal do conversor SEPIC em ambiente simulado (sem perdas parasitas). Dessa forma, foi possível validar a topologia adotada e assegurar que o projeto está de acordo com os fundamentos teóricos dos conversores CC-CC

3.2 Resultados dos Testes com o Protótipo Físico

Após a validação teórica e computacional, um protótipo físico do conversor SEPIC foi desenvolvido em protoboard para a realização de ensaios experimentais (Figura 5). A tensão e a corrente de entrada foram fornecidas por uma fonte de bancada ajustável, o que permitiu simular diferentes níveis de tensão equivalentes às condições do módulo fotovoltaico. O chaveamento do MOSFET foi realizado por um Arduino Uno, configurado para gerar o sinal PWM em diferentes ciclos de trabalho.

Durante os testes, o protótipo demonstrou o comportamento característico do conversor SEPIC: operou tanto na redução (modo *Buck*) quanto na elevação (modo *Boost*) da tensão de entrada, de acordo com a variação do *duty cycle*. No entanto, ao comparar os valores medidos com os resultados teóricos e simulados, observou-se que a conversão não ocorreu de forma totalmente ideal.

Mesmo em condições em que o *duty cycle* foi ajustado para 50% — situação na qual a tensão de saída teoricamente deveria se igualar à de entrada —, constatou-se uma perda significativa de tensão. Esse comportamento pode ser atribuído às perdas reais do circuito, como a resistência série dos indutores, a resistência de condução do MOSFET, as resistências parasitas da protoboard e a queda de tensão no diodo Schottky.

Ainda assim, os ensaios confirmaram o funcionamento da topologia: o conversor foi capaz de tanto reduzir quanto elevar a tensão de entrada, validando o princípio de operação do SEPIC. Contudo, ficou evidente a necessidade de um ajuste mais refinado no projeto, incluindo a seleção de componentes com menores perdas e uma montagem em placa de circuito impresso (PCI), a fim de aumentar a eficiência global do sistema.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo o estudo, dimensionamento e implementação de um conversor SEPIC aplicado a sistemas fotovoltaicos, visando à futura utilização em estratégias de controle para o rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT).

A revisão da literatura foi fundamental para embasar o estudo, pois permitiu a compreensão dos princípios de funcionamento dos conversores CC-CC e suas diferentes topologias, como o *Buck*, o *Boost* e o *Buck-Boost* inversor. Esses conversores foram avaliados em relação a suas vantagens e limitações, e, a partir dessa análise, constatou-se que o SEPIC era o mais adequado para as necessidades do projeto. Isso se deve principalmente à sua capacidade de elevar e reduzir a tensão de entrada, característica essencial para lidar com as variações de irradiância típicas em sistemas fotovoltaicos.

Com base na topologia escolhida, foram realizadas análises teóricas e simulações computacionais que confirmaram o correto funcionamento do SEPIC em seus modos de operação Buck e Boost. Os resultados em ambiente simulado validaram a eficiência da estrutura, demonstrando a possibilidade de regular a tensão de saída por meio da variação do ciclo de trabalho (*duty cycle*).

Na etapa experimental, um protótipo físico do conversor foi desenvolvido para confrontar a teoria com a prática. Os testes comprovaram o funcionamento da topologia, evidenciando sua capacidade de reduzir e elevar a tensão de entrada. No entanto, observou-se que a conversão prática apresentou perdas consideráveis em relação ao modelo ideal, o que causou discrepâncias entre os valores de entrada e saída, mesmo em condições nas quais o comportamento deveria ser próximo ao teórico. Essas perdas podem ser atribuídas à resistência parasita dos componentes, às quedas de tensão nos semicondutores e às limitações da montagem em protoboard.

Apesar dessas restrições, o trabalho atingiu seu objetivo central: comprovar o funcionamento do conversor SEPIC e sua adequação para aplicações em sistemas fotovoltaicos. Como trabalhos futuros, recomenda-se a otimização do projeto por meio da utilização de componentes de maior eficiência, o desenvolvimento em placa de circuito impresso (PCI) para redução das perdas parasitas, a inclusão de sensores de corrente e tensão, e a integração do conversor a algoritmos de MPPT inteligentes, como lógica *fuzzy* e redes neurais, a fim de potencializar o desempenho global do sistema fotovoltaico.

Referências

- [Agency 2023] AGENCY, I. E. World Energy Outlook 2023. International Energy Agency, 2023.
Acesso em: 24 de Abril de 2025. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>>.
- [Ianiski et al.] IANISKI, M. et al. Projeto e simulação de um controlador de carga de baixa potência para fonte fotovoltaica.

[IRENA n.d.]IRENA, I. R. E. A. Solar Energy - Overview. n.d.
<https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy>. Acessado em: 22 de Abril de 2025.

[Mata 2025]MATA, G. A. B. d. Comparação de conversores cc-cc para otimização da geração de energia solar fotovoltaica através do rastreamento da máxima potência. 2025.

[Perdoncini 2015]PERDONCINI, J. F. Conversor CC-CC para aplicação fotovoltaica. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

[Sousa 2019]SOUSA, S. M. Controle de conversor cc/cc SEPIC em modo corrente aplicado ao inversor fotovoltaico trifásico conectado à rede elétrica. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São João del Rei. Centro . . . , 2019.

Anexos

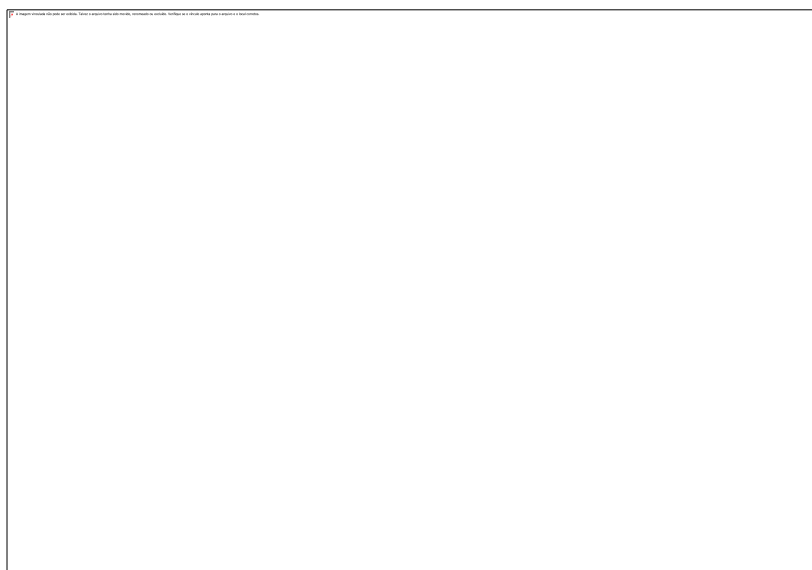


Figura 1: Circuito elétrico do conversor SEPIC. Fonte: Autores.

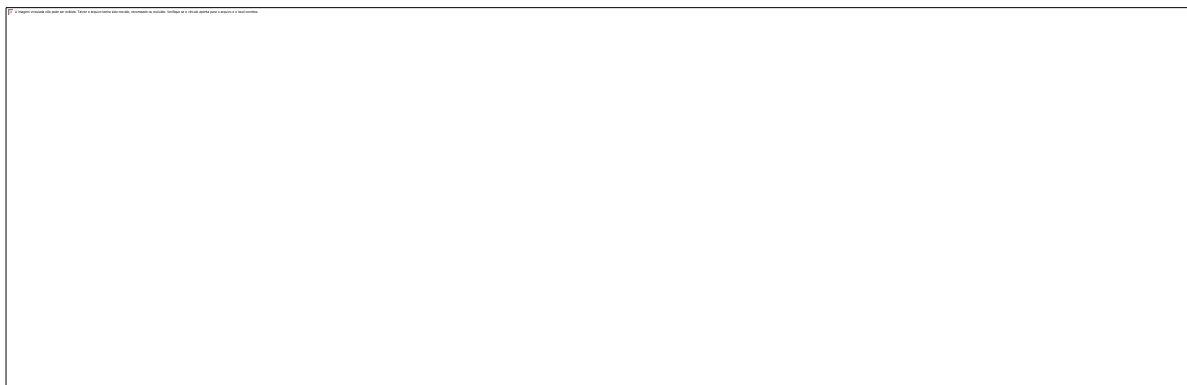


Figura 2: Conversor SEPIC modelado no software LTspice. Fonte: Autores.

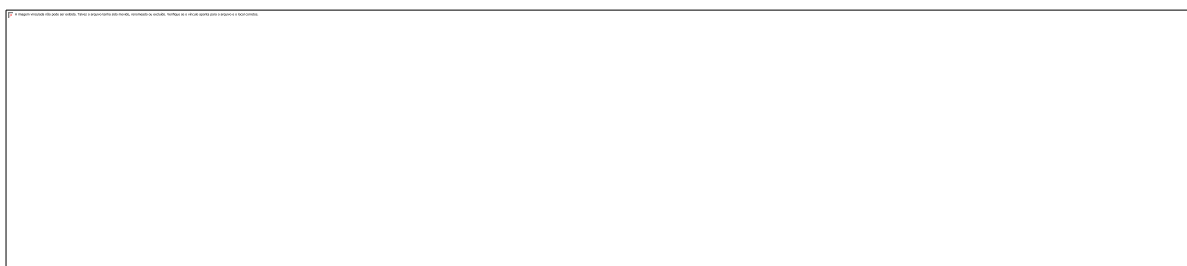


Figura 3: Gráfico gerado no software LTspice, com duty cycle de 30%. Fonte: Autores.



Figura 4: Gráfico gerado no software LTspice, com duty cycle de 60%. Fonte: Autores.

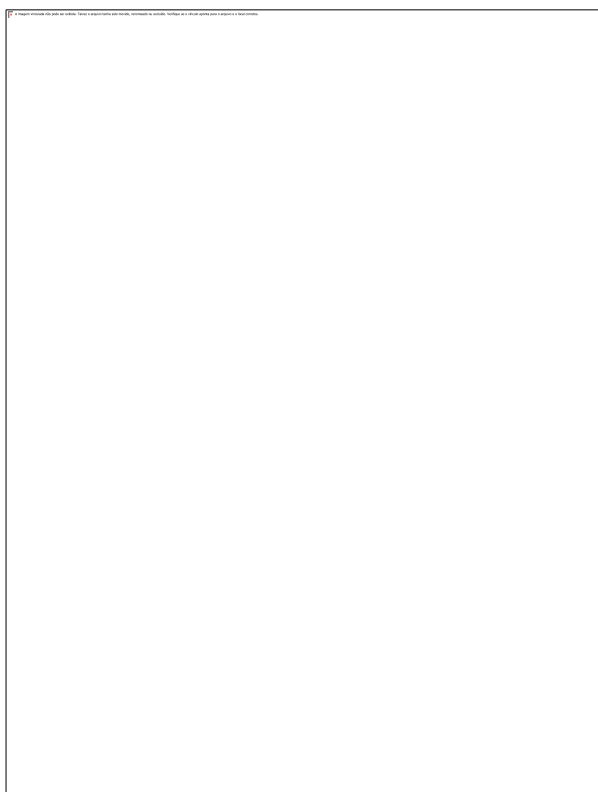


Figura 5: Circuito montado na protoboard. Fonte: Autores.

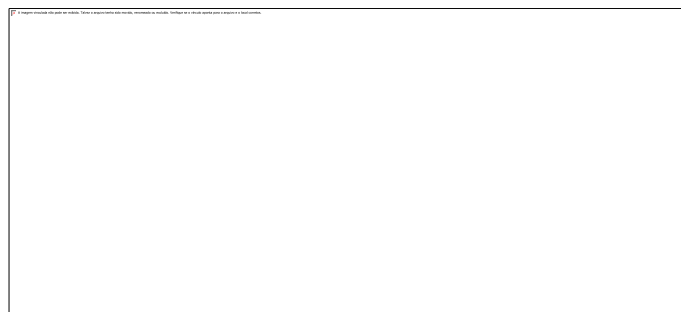


Tabela 1: Características do módulo fotovoltaico

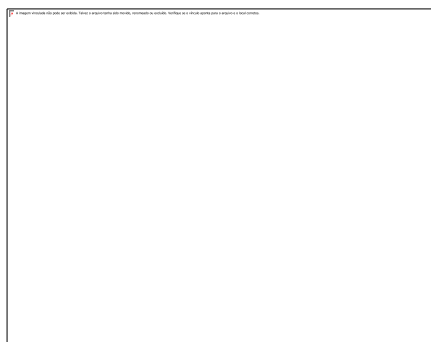


Tabela 2: Componentes selecionados para o conversor SEPIC.

CÓDIGO: ET0214

AUTOR: TALLES LOHAN DANTAS CARDOSO

ORIENTADOR: FABIO MENEGHETTI UGULINO DE ARAUJO

TÍTULO: Introdução ao Controle de Sistemas de Geração Fotovoltaica

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo e o desenvolvimento de conversores CC-CC aplicados a sistemas fotovoltaicos *off-grid*, com foco na construção e na análise de protótipos de controladores de carga. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica em bases acadêmicas, abordando as principais topologias de conversores, como *Buck*, *Boost* e *Buck-Boost*, além de conceitos relacionados ao controle de energia em sistemas fotovoltaicos. O desenvolvimento incluiu simulações em softwares como *LTspice* e *EasyEDA*, seguidas da montagem prática em protoboard. Além disso, o sistema contou com a utilização de um microcontrolador Arduino, integrado diretamente ao protótipo físico. Os resultados experimentais evidenciaram o funcionamento do conversor *Boost*, que apresentou desempenho satisfatório, embora com perdas significativas decorrentes de fatores práticos, como resistências parasitas e limitações dos componentes. Como perspectivas futuras, propõe-se a implementação do conversor SEPIC e a integração de técnicas de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT), de modo a ampliar a eficiência e a aplicabilidade do sistema fotovoltaico.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica, Conversores CC-CC, Conversor Boost, Arduino.

TITLE: Introduction to Control of Photovoltaic Generation Systems

Abstract

This work presents the study and development of DC-DC converters applied to off-grid photovoltaic systems, focusing on the construction and analysis of charge controller prototypes. Initially, a literature review was conducted in academic sources, addressing the main converter topologies, such as Buck, Boost, and Buck-Boost, as well as concepts related to energy control in photovoltaic systems. The development included simulations in software such as LTspice and EasyEDA, followed by practical assembly on a protoboard. In addition, the system employed an Arduino microcontroller, directly integrated into the physical prototype. The experimental results demonstrated the operation of the Boost converter, which showed satisfactory performance, although with significant losses due to practical factors, such as parasitic resistances and component limitations. As future perspectives, the implementation of the SEPIC converter and the

integration of maximum power point tracking (MPPT) techniques are proposed, aiming to improve the efficiency and applicability of the photovoltaic system.

Keywords: Photovoltaic Energy, DC-DC Converters, Boost Converter, Arduino.

Introdução

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica continua sendo um dos principais fatores associados às mudanças climáticas, contribuindo para o aumento de 1,1 °C na temperatura média global entre 2011 e 2020, em comparação ao período de 1850 a 1900. Embora o uso do petróleo na matriz elétrica mundial tenha diminuído, essa redução foi compensada pelo crescimento da participação do gás natural. Como resultado, cerca de 61,1% da produção de energia elétrica ainda é proveniente de fontes fósseis, como carvão mineral e gás natural, mantendo elevados níveis de emissão de CO₂ (Kronenberger; Brasil; Miranda, 2025). Diante da predominância de fontes fósseis na matriz elétrica global, a energia renovável tem se destacado como uma alternativa estratégica, capaz de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas (Dias, 2024).

Entre as alternativas renováveis, a energia solar se sobressai por sua abundância, disponibilidade global e aplicabilidade em diferentes escalas, desde residências até grandes usinas. No Brasil, o alto índice de irradiação solar e a produção de silício tornam o país promissor para essa tecnologia, que contribui para ampliar a geração local e reduzir perdas na transmissão. Apesar do receio inicial decorrente do desconhecimento, a energia solar fotovoltaica apresenta grande potencial de expansão, por ser limpa, renovável e cada vez mais acessível, convertendo diretamente a luz solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas. Essa conversão tem se consolidado no mercado de energia em virtude da redução dos custos de fabricação, do crescimento contínuo da eficiência dos painéis e do aperfeiçoamento no desenvolvimento de sistemas de conversão e controle (Silva; Araújo, 2022).

Ainda assim, a geração fotovoltaica, tanto *on-grid* quanto *off-grid*, enfrenta desafios decorrentes de sua natureza variável, já que a potência depende de condições ambientais, como irradiação e temperatura. O sombreamento parcial pode causar perdas significativas e até gerar pontos quentes, que danificam células solares. Além disso, o aumento da temperatura das células reduz a tensão do módulo, afetando a eficiência do sistema mesmo com pequenas variações de corrente (Morita, 2022). Nesse contexto, o controlador de carga, essencial em sistemas fotovoltaicos *off-grid*, gerencia a transferência de energia do painel para a bateria, prevenindo sobrecargas e descargas excessivas. Esse dispositivo pode operar no modo PWM (*Pulse Width Modulation* – Modulação por Largura de Pulso), de menor eficiência, ou no modo MPPT (*Maximum Power Point Tracking* – Rastreamento do Ponto de Máxima Potência), que, por meio de algoritmos e eletrônica de potência, maximiza a captação de energia (Bustos-Márquez et al., 2023).

Para aumentar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, diversas técnicas de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) são aplicadas, como Perturbação e Observação (P&O), Condutância Incremental (IC) e *Hill Climbing* (HC). Entre essas, destaca-se o método P&O, que ajusta periodicamente a tensão e compara a potência gerada, direcionando o sistema para o ponto ótimo de operação (Brito, 2013).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo o estudo de técnicas de MPPT e o desenvolvimento de protótipos de controladores de carga.

Metodologia

2 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste projeto foi conduzido de forma prática e gradativa, envolvendo estudos sobre a construção de circuitos de controladores de carga, simulações em ambiente computacional e a montagem de protótipos físicos. O objetivo principal consistiu em explorar e testar diferentes configurações de circuitos de controladores de carga aplicados a sistemas fotovoltaicos, buscando compreender seu funcionamento e avaliar sua eficiência em distintas condições de operação.

2.1 Revisão Bibliográfica

A primeira etapa do trabalho consistiu em uma ampla revisão bibliográfica, realizada em bases acadêmicas como o Periódicos CAPES e o Google Acadêmico. O objetivo dessa fase foi consolidar o conhecimento teórico necessário para o desenvolvimento do projeto, fornecendo uma compreensão detalhada das técnicas de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) e das topologias de conversores CC-CC aplicáveis a sistemas fotovoltaicos.

O estudo das técnicas de MPPT teve ênfase na Perturbação e Observação (P&O), por ser a mais utilizada e consolidada, além de apresentar implementação simples e boa eficiência em condições variáveis de irradiância e temperatura. Paralelamente, foram analisadas outras técnicas, como Condutância Incremental (IC) e *Hill Climbing (HC)*, a fim de compreender suas vantagens, limitações e potenciais aplicações. Essa comparação possibilitou selecionar a técnica mais adequada para a implementação prática nos protótipos de controladores de carga.

Além das técnicas de controle, a revisão também contemplou os diferentes tipos de conversores CC-CC, incluindo *Buck*, *Boost*, *Buck-Boost* e SEPIC, avaliando suas características, aplicações típicas e critérios de dimensionamento dos principais componentes, como indutores, capacitores, diodos e MOSFETs. Essa análise forneceu subsídios para o projeto e a construção dos circuitos, permitindo que os protótipos fossem planejados de forma consistente e eficiente.

Em síntese, a revisão bibliográfica contribuiu para o estabelecimento de boas práticas de projeto, para a definição de referências de implementação e para a escolha de metodologias de teste, constituindo uma base sólida para as etapas experimentais e garantindo que o desenvolvimento do trabalho estivesse fundamentado em pesquisas confiáveis e atualizadas.

2.2 Plataformas e ferramentas

Nesta etapa, foram selecionadas as plataformas e ferramentas que possibilitaram a realização dos testes e simulações do projeto. A escolha considerou critérios como facilidade de uso, acessibilidade e aplicabilidade em ambientes acadêmicos.

A plataforma de prototipagem escolhida foi o Arduino, inicialmente utilizado para gerar a frequência de chaveamento necessária ao controle dos conversores CC-CC por meio da técnica de modulação por largura de pulso (PWM). Essa configuração permitiu analisar o comportamento do sinal em termos de *duty cycle* (%), isto é, a relação entre o tempo em nível lógico alto e o período total do pulso.

Para complementar os testes, empregou-se o Tinkercad, ambiente de simulação que possibilitou desenvolver e validar os códigos do Arduino. Nesse ambiente, foi implementada a técnica de Perturbação e Observação (P&O), com o objetivo de analisar o comportamento do PWM em resposta às variações simuladas de tensão. O código desenvolvido teve como função reproduzir cenários de mudança nas condições ambientais, simulando um painel fotovoltaico sujeito a alterações de irradiância e temperatura. Assim, as tensões e correntes variavam de acordo com essas condições, e, a partir dessas variações, a técnica buscava continuamente o ponto de máxima potência, conforme ilustrado na Figura 1.

Além do Tinkercad, o estudo mais detalhado dos circuitos conversores foi realizado em softwares específicos de simulação, como o *LTSpice*, utilizado para a análise do comportamento dinâmico dos conversores (*Buck*, *Boost* e *Buck-Boost*), e o *EasyEDA*, voltado para a esquematização e visualização dos circuitos.

A programação do Arduino foi desenvolvida em C/C++ por meio da IDE oficial, com foco na geração do PWM e na implementação da técnica P&O em ambiente simulado.

Assim, a definição das plataformas e ferramentas possibilitou a reprodução de situações próximas à realidade, garantindo a validação inicial da técnica antes de sua aplicação prática em hardware físico.

2.3 Projeto e Construção de Circuitos

2.3.1 Topologias de conversores

O estudo contemplou as principais topologias de conversores CC-CC aplicáveis ao projeto: *Buck*, *Boost* e *Buck-Boost*. O foco esteve em compreender o comportamento de cada estrutura e em analisar como a variação do *duty cycle* (d) influencia diretamente a relação entre a tensão de entrada e a tensão de saída, bem como entre a corrente de entrada e a corrente de saída.

As funções de transferência em regime de condução contínua (CCM) permitem descrever esse comportamento:

- *Buck*: Figura 2: Conversor *Buck* Fonte: [MakerHero 2022].
Reduz a tensão de saída em relação à entrada, sendo útil em situações nas quais é necessário adequar a tensão fornecida pela fonte a níveis menores. As Equações 1 e 2

são utilizadas para uma melhor compreensão desse tipo de conversor.

- *Boost*: Figura 3: Conversor *Boost*. Fonte: [MakerHero 2022].

Eleva a tensão de saída em relação à entrada, sendo especialmente útil nos casos em que a tensão fornecida pela fonte não é suficiente para suprir a carga. As Equações 3 e 4 são utilizadas para uma melhor compreensão desse tipo de conversor.

- *Buck-Boost*: Figura 4: Conversor *buck-Boost*. Fonte: [MakerHero 2022]

Possibilita tanto reduzir quanto elevar a tensão, porém com a saída invertida em relação à entrada. As Equações 5 e 6 são utilizadas para uma melhor compreensão desse tipo de conversor.

Resultados e Discussões

Durante as análises presenciais, aplicou-se uma tensão de entrada conhecida em cada conversor, verificando-se se a saída correspondia aos valores previstos pelas expressões mencionadas anteriormente. Esse procedimento foi essencial para confirmar, na prática, a relação entre o *duty cycle* e o ganho de tensão.

Também foram realizadas simulações no *LTspice*, permitindo comparar os resultados teóricos com o comportamento dinâmico dos circuitos, além de observar efeitos como ripple de corrente e tensão.

Dentre os conversores testados, o *Buck* e o *Boost* mostraram-se adequados às necessidades do projeto, pois possibilitaram tanto a redução quanto o aumento controlado da tensão de saída, conforme as condições de operação. Já o *Buck-Boost*, embora tenha sido estudado e compreendido, não pôde ser aplicado na prática devido à inversão da polaridade da tensão de saída, o que não atendia às especificações do sistema.

Assim, o estudo detalhado consolidou a importância dos conversores *Buck* e *Boost* no desenvolvimento do controlador de carga, servindo de base para os resultados apresentados posteriormente.

2.3.2 Dimensionamento dos Componentes

O processo de dimensionamento dos componentes do conversor *Boost*, apresentado na Tabela 2, foi conduzido com base nas especificações elétricas do módulo fotovoltaico adotado como fonte primária do sistema, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Características técnicas do módulo fotovoltaico.

- Indutor (L): O indutor foi selecionado de modo a assegurar a operação em regime de condução contínua (CCM), minimizando oscilações de corrente e garantindo o armazenamento adequado de energia durante o chaveamento. O valor mínimo do indutor pode ser determinado por meio da Equação 7:

Equação 7

L - Indutância do indutor

V_{in} - Tensão de entrada

D - *Duty cycle*

ΔI_L - Variação máxima de corrente no indutor

f_s - Frequência de chaveamento

• Capacitor de Entrada e Saída (C):

Os capacitores foram projetados considerando a necessidade de atenuar as oscilações de tensão durante o chaveamento do MOSFET. Para o capacitor de entrada, buscou-se estabilizar a tensão fornecida pelo painel fotovoltaico. Já o capacitor de saída foi dimensionado com prioridade na redução do ripple e na manutenção de uma tensão estável para a carga. O valor do capacitor pode ser obtido por meio da Equação 8:

Equação 8

C - Capacitância do capacitor

I_{out} - Corrente de saída

D - *Duty cycle*

ΔV_c - Ripple de tensão aceitável

f_s - Frequência de chaveamento

• O diodo Schottky (1N5819) foi selecionado devido à sua baixa queda de tensão direta e à rápida capacidade de comutação, características importantes para reduzir perdas e aumentar a eficiência do conversor em altas frequências de operação.

• MOSFET (IRF2805): O MOSFET (IRF2805) foi escolhido por apresentar baixa resistência de condução e por ser capaz de suportar correntes superiores à máxima fornecida pelo painel, garantindo segurança e desempenho durante o chaveamento.

Tabela 2: Especificações dos Componentes do Conversor Boost

2.3.3 Montagem do Protótipo

A montagem do protótipo foi projetada e esquematizada na plataforma de desenvolvimento *EasyEDA*, conforme ilustrado na Figura 5. Essa etapa foi de extrema importância para a organização dos componentes, a verificação das conexões elétricas e o planejamento do layout antes da montagem física.

Figura 5: Montagem do Protótipo no *easyEDA*. Fonte: Próprio Autor.

Para os testes práticos, o protótipo foi montado em uma protoboard, facilitando ajustes e a troca de componentes ao longo dos experimentos, conforme ilustrado na Figura 6. Além disso, uma fonte de bancada foi utilizada no lugar do painel fotovoltaico, a fim de simular a tensão e a corrente de entrada.

Nesta fase inicial, o microcontrolador Arduino foi empregado com a função específica de gerar o sinal de controle responsável pelo chaveamento do MOSFET.

2.4 Testes Experimentais

O objetivo dos testes foi validar a operação e a eficiência do conversor Boost. No experimento, o Arduino foi utilizado para gerar o sinal de chaveamento do MOSFET em uma frequência fixa. A variação do *duty cycle* (D) foi controlada manualmente por meio de um potenciômetro, que simulava alterações no sinal de controle. Para cada ajuste realizado no potenciômetro, a tensão de saída era medida com um multímetro, a fim de verificar se a conversão de tensão estava coerente com os resultados teóricos esperados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa, serão apresentados os resultados obtidos ao longo da pesquisa, considerando tanto as análises realizadas em softwares de simulação quanto os testes práticos implementados na protoboard. A comparação entre o ambiente de simulação e o cenário real permite evidenciar as diferenças entre uma situação idealizada e as limitações práticas, tais como perdas, tolerâncias dos componentes e ruídos de operação.

Dessa forma, torna-se possível validar o desempenho do conversor proposto e compreender melhor o impacto das condições reais sobre o comportamento do sistema.

3.1 Resultados das simulações computacionais

Nesta etapa, o desempenho do conversor *Boost* foi avaliado por meio de simulações computacionais realizadas no *software LTspice*. O objetivo principal consistiu em analisar a eficiência e o comportamento da tensão de saída (V_{out}) sob diferentes valores de *duty cycle* (D), a fim de verificar a capacidade de elevação de tensão e a estabilidade do circuito.

Figura 7: Montagem no LTspice. Fonte: Próprio Autor.

O circuito do conversor Boost foi montado no *LTspice*, seguindo a topologia apresentada na Figura 7. Os parâmetros e componentes utilizados na simulação foram:

- Tensão de Entrada (V_{in}):
- Indutor ($L1$): $100\ \mu\text{H}$
- Capacitor de entrada ($C1$): $330\ \mu\text{F}$
- Capacitor de Saída ($C2$): $330\ \mu\text{F}$
- Resistência de Carga ($R1$): $50\ \Omega$
- MOSFET ($M1$): IRF2805
- Diodo ($D1$): 1N5819 (Diodo Schottky)
- Sinal de Comando ($V1$): Pulso PWM com:
 - Período (T): $20\ \mu\text{s}$
 - Tempo em Nível Alto (T_{on}): $10\ \mu\text{s}$
 - Frequência de Comutação (f_s): $50\ \text{kHz}$ ($f_s = 1/T$)
 - Duty Cycle (D): 50% ($D = T_{on}/T$)

Foram realizadas simulações para diferentes valores de *duty cycle* (D) e tensão de entrada (V_{in}). A análise a seguir concentra-se nos resultados obtidos para um *duty cycle* de 50%. Para um conversor Boost ideal, a tensão de saída é dada pela seguinte Equação 9:

Equação 9

As simulações, realizadas ao longo de um período de 100 ms, permitiram observar tanto o comportamento transitório quanto o regime permanente do conversor. Conforme ilustram as Figuras 8 e 9, a tensão de saída (V_{out}) estabilizou-se em um valor equivalente ao previsto teoricamente.

Figura 8: Resultado para $V_{in} = 0.9V$. Fonte: Próprio Autor.

Figura 9: Resultado para $V_{in} = 5V$. Fonte: Próprio Autor.

Os resultados obtidos para o duty cycle de 50% foram consistentes com a teoria. A simulação validou o dimensionamento dos componentes e confirmou a capacidade do conversor de elevar a tensão de 0,9 V e de 5 V para aproximadamente 1,8 V e 10 V, respectivamente.

3.2 Resultados dos testes práticos

Durante a etapa experimental com o protótipo do conversor Boost, a tensão de entrada (V_{in}) foi fornecida por uma fonte de bancada, enquanto o chaveamento do MOSFET foi realizado por meio de um microcontrolador Arduino, responsável pela geração do sinal PWM de controle.

Figura 10: Resultado para $V_{in} = 3,5V$. Fonte: Próprio Autor.

No experimento avaliado, apresentado na Figura 10, aplicou-se uma tensão de entrada de aproximadamente 3,5 V, utilizando um *duty cycle* (D) de 50%. Para esse cenário, a saída teórica esperada seria em torno de 7 V. Entretanto, a tensão medida experimentalmente foi de aproximadamente 6 V, evidenciando uma perda de cerca de 1 V.

Os desvios entre os valores teóricos e experimentais podem ser atribuídos a fatores como resistências parasitas, queda de tensão no diodo Schottky, perdas de condução e comutação do MOSFET, além das limitações físicas inerentes à protoboard, que introduz resistências e indutâncias adicionais.

Vale ressaltar que diversos ensaios foram realizados sob diferentes condições de operação, e, em todos os casos, observou-se a presença dessas perdas, o que reforça a relevância das características não ideais dos componentes na eficiência global do sistema.

Conclusão

4 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada possibilitou a compreensão prática e teórica do funcionamento dos diferentes tipos de conversores, evidenciando o conversor *Boost* e destacando as diferenças entre o comportamento ideal obtido em simulações e os resultados experimentais observados no protótipo. Apesar das perdas identificadas no sistema, o estudo cumpriu seu objetivo de comprovar a operação do conversor e de identificar os

principais fatores responsáveis pelas limitações de desempenho, como as características não ideais dos componentes e as restrições impostas pelo sistema físico.

Como perspectivas para trabalhos futuros, destaca-se a implementação e análise de um novo conversor do tipo SEPIC, que apresenta a vantagem de operar tanto como elevador quanto como redutor de tensão sem a inversão na saída, ampliando sua aplicabilidade em sistemas fotovoltaicos. Além disso, recomenda-se a otimização do projeto por meio da utilização de componentes de maior eficiência, da inclusão de sensores de corrente e tensão, bem como da integração do conversor às técnicas de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT). Essas melhorias têm o potencial de elevar significativamente o desempenho global do sistema, especialmente em aplicações voltadas para sistemas fotovoltaicos.

Referências

Referências

[Brito 2013]BRITO, M. A. G. d. Inversores integrados monofásicos e trifásicos para aplicações fotovoltaicas: Técnicas para obtenção de mppt, detecção e proteção de ilhamento, sincronização e paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2013.

[Bustos-Márquez et al. 2023]BUSTOS-MÁRQUEZ, L. F. et al. Controlador de carga mppt con método de estimación del estado de carga basado en conteo de amperios hora y voltaje a circuito abierto. Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, v. 28, n. 2, p. 1–19, 2023.

[Dias 2024]DIAS, R. O papel das energias renováveis no cumprimento dos ods: oportunidades e desafios. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 5, n. 1, p. e514845– e514845, 2024.

[Kronenberger, Brasil e Miranda 2025]KRONENBERGER, G.; BRASIL, V. do; MIRANDA, M. G. de. Panorama da geração elétrica e das emissões de gases de efeito estufa no atual cenário de transição energética. REVISTA FOCO, v. 18, n. 2, p. e7641–e7641, 2025.

[MakerHero 2022]MakerHero. Como funciona um conversor de tensão DC-DC? 2022. Disponível em: <<https://www.makerhero.com/blog/como-funciona-um-conversor-de-tensao-dc-dc/>>.

[Morita 2022]MORITA, V. A. Simulação de perdas de desempenho em um sistema de geração fotovoltaica. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.

[Silva e Araújo 2022]SILVA, H. M. F. da; ARAÚJO, F. J. C. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 8, n. 3, p. 859–869, 2022.

Anexos

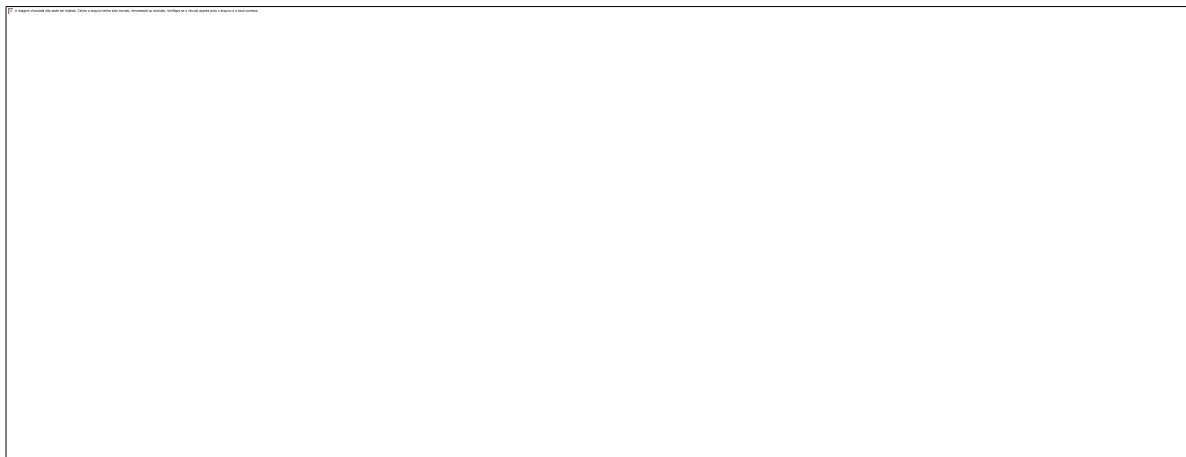


Figura 1: Teste de código PeO. Fonte: próprio Autor.

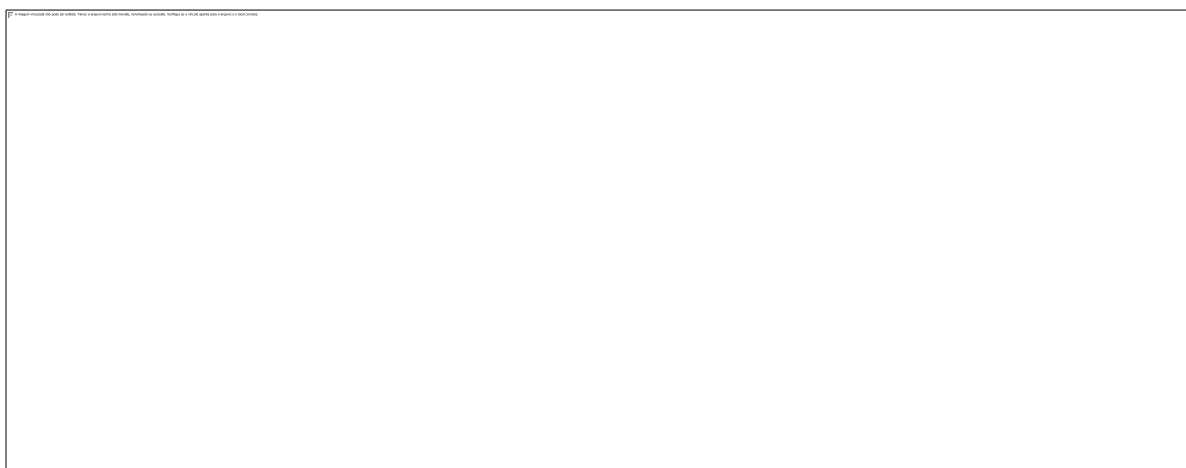


Figura 2: Conversor Buck Fonte: [6].

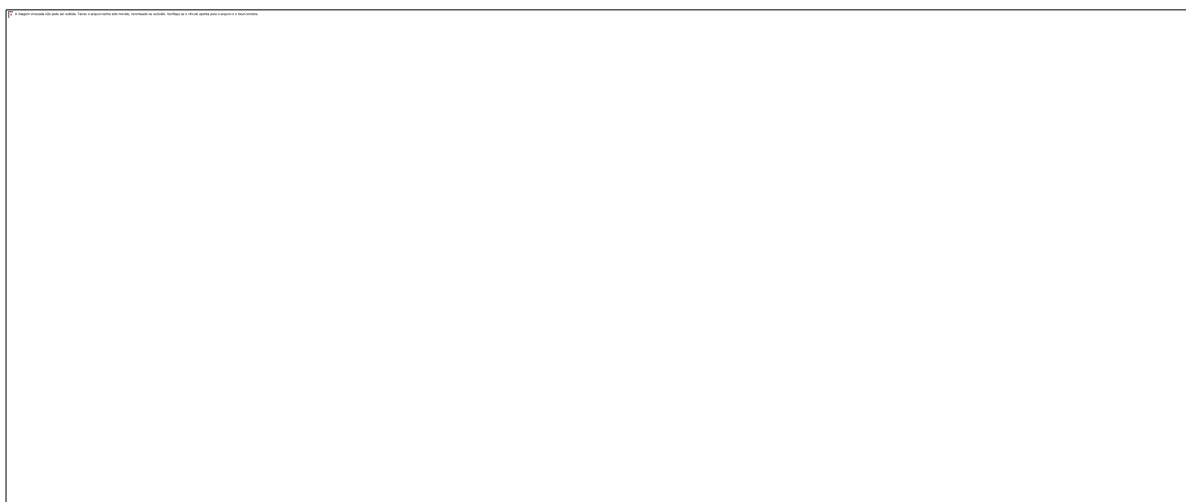


Figura 3: Conversor Boost. Fonte: [6].

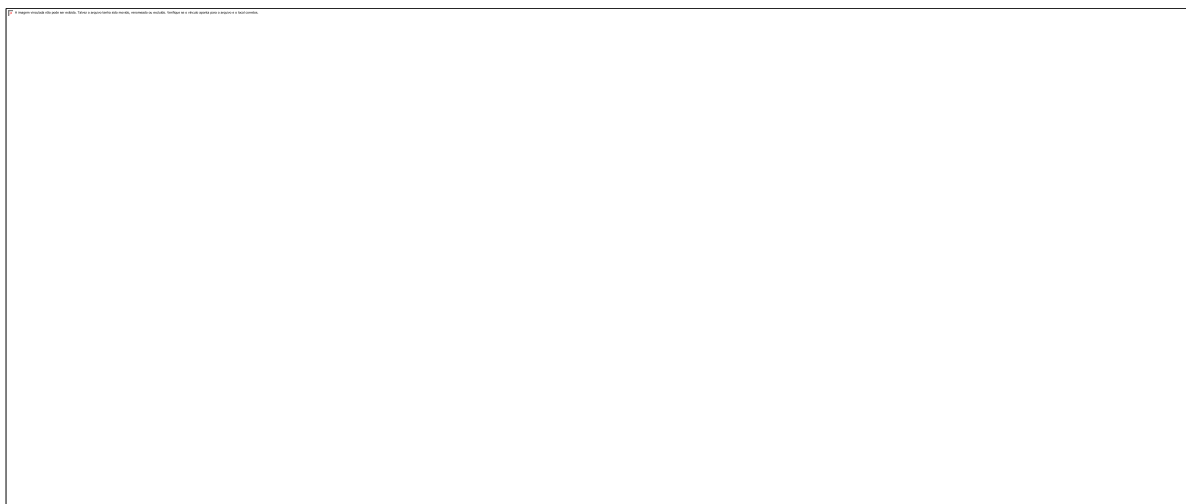


Figura 4: Conversor buck-Boost. Fonte: [6].

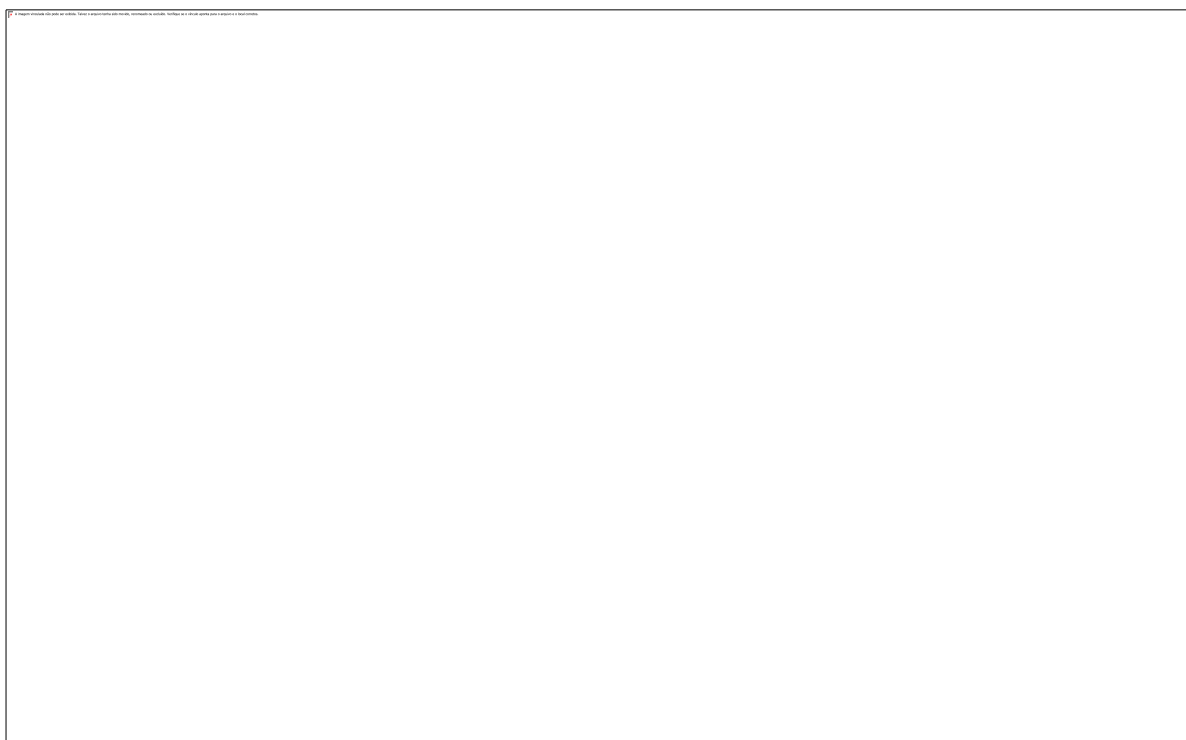


Figura 5: Montagem do Protótipo no easyEDA. Fonte: Próprio Autor.

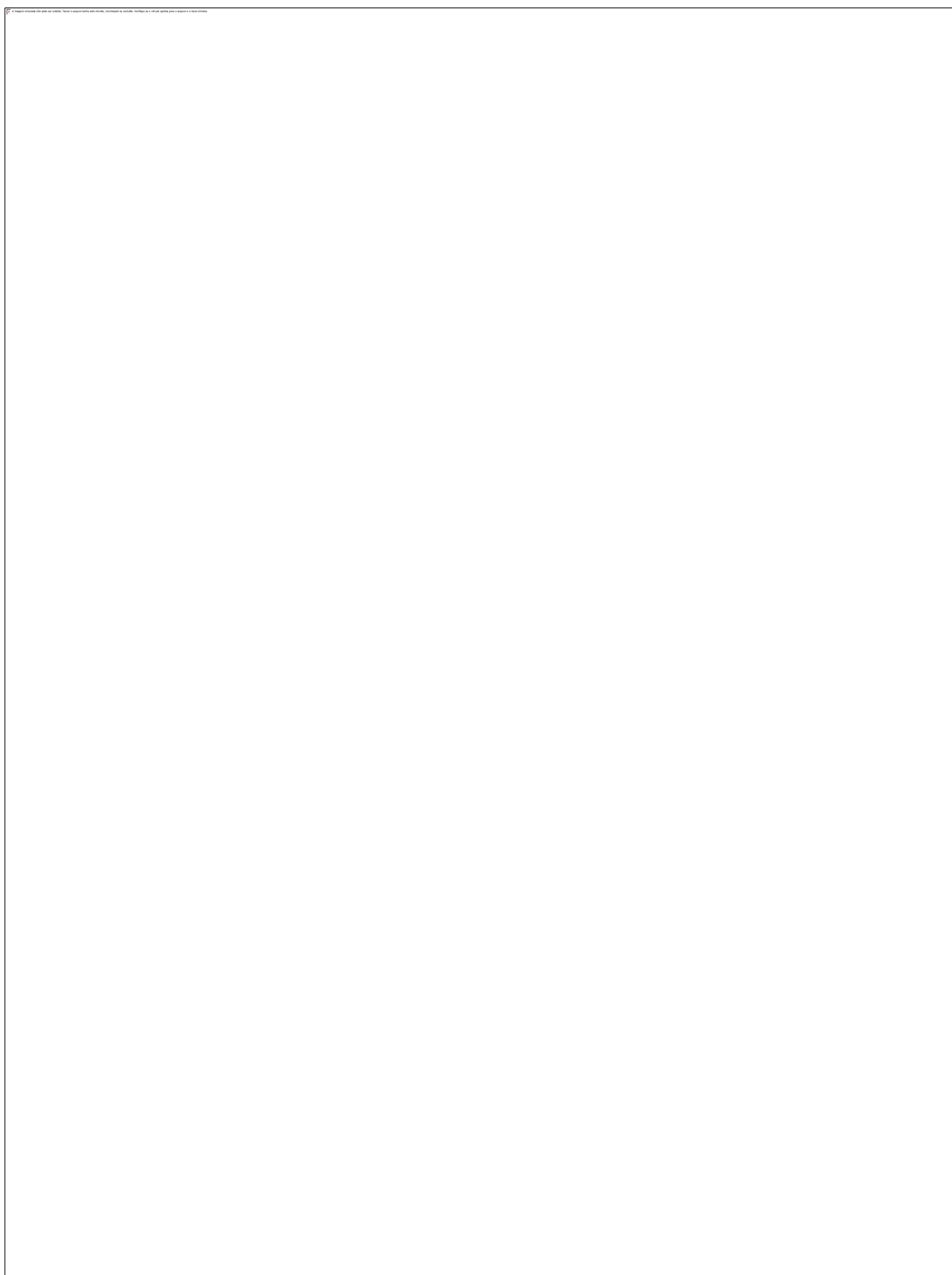


Figura 6: Montagem física. Fonte: Próprio Autor.

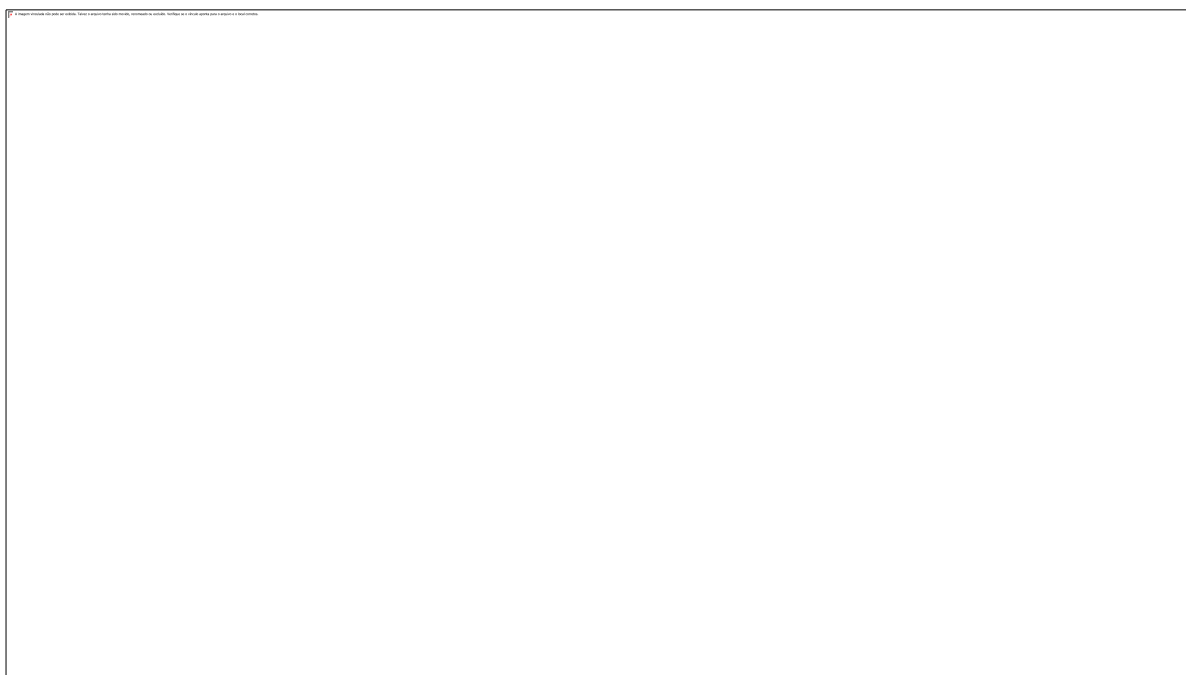


Figura 7: Montagem no LTspice. Fonte: Próprio Autor.

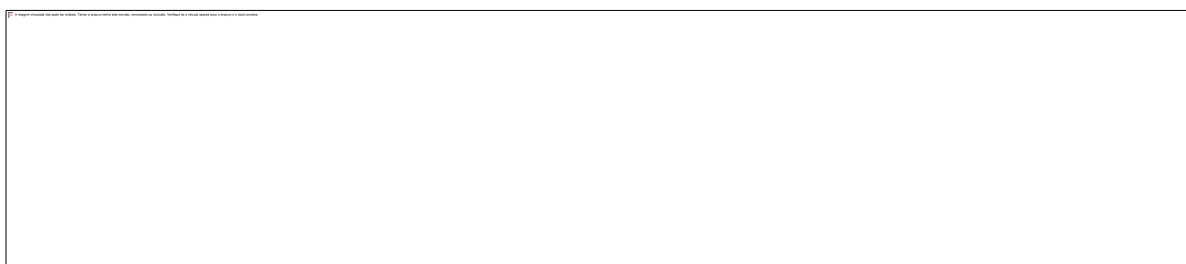


Figura 8: Resultado para $V_{in} = 0.9V$. Fonte: Próprio Autor.



Figura 9: Resultado para $V_{in} = 5V$. Fonte: Próprio Autor.



Figura 10: Resultado para $V_{in} = 3,5V$. Fonte: Próprio Autor



Equação 1



Equação 2



Equação 3



Equação 4



Equação 5



Equação 6



Equação 7



Equação 8



Equação 9

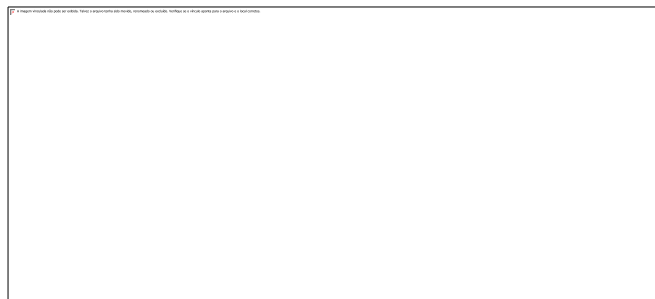
A large rectangular box intended for the content of Table 1.

Tabela 1

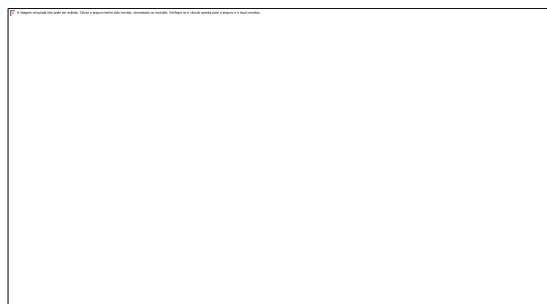
A large rectangular box intended for the content of Table 2.

Tabela 2

CÓDIGO: ET0217

AUTOR: ANA CLARA PIERRE DOS SANTOS TAVARES

ORIENTADOR: MARIO ORESTES AGUIRRE GONZALEZ

TÍTULO: Rotas tecnológicas para a produção de e-metanol: análise bibliográfica e estudo de casos

Resumo

A busca pela descarbonização da economia tem impulsionado a procura por novos vetores energéticos renováveis, como o e-metanol, o qual se constitui como um vetor para a descarbonização de setores econômicos como o transporte aéreo, marítimo e a indústria química. Com isso, este estudo objetiva investigar as rotas tecnológicas e o cenário mundial da produção de e-metanol. A metodologia da pesquisa consistiu em uma revisão bibliográfica e um estudo de casos envolvendo 4 projetos internacionais de produção de e-metanol nos países: Dinamarca, Arábia Saudita, Islândia e China. Foram identificadas 9 rotas de produção agrupadas em 3 blocos: termoquímicas, eletroquímicas e fotoquímicas. A análise concluiu que as rotas termoquímicas são as mais consolidadas industrialmente, sendo a hidrogenação termocatalítica direta de CO₂ a mais investigada atualmente. As rotas eletroquímicas demonstram grande potencial, enquanto as fotoquímicas necessitam de mais desenvolvimento. O estudo de casos de quatro plantas de produção de metanol verde demonstra a viabilidade prática da produção de e-metanol a partir de CO₂ capturado e H₂ produzido a partir de fontes renováveis. Os projetos estudados, juntos, somam mais de 46.320T de e-metanol por ano, o que indica a perspectiva de crescimento e otimização da tecnologia. Com aplicações que vão de combustível para navios a matéria-prima para a indústria química, o mercado de e-metanol está em expansão, cumprindo um papel fundamental na transição energética.

Palavras-chave: E-metanol. Rotas tecnológicas. Revisão Bibliográfica. Estudo de casos.

TITLE: Technological Pathways for E-Methanol Production: A Literature Review and Case Study Analysis

Abstract

The pursuit of economic decarbonization has intensified the search for new renewable energy carriers, with e-methanol emerging as a key option for reducing emissions in sectors such as aviation, maritime transport, and the chemical industry. This study examines the technological pathways and global landscape of e-methanol production. The research methodology consisted of a systematic literature review and case studies of four international projects in Denmark, Saudi Arabia, Iceland, and China. Nine production routes were identified and grouped into three categories: thermochemical, electrochemical, and photochemical. The analysis concludes that thermochemical routes are the most industrially established, with direct thermocatalytic CO₂ hydrogenation currently the most widely studied. Electrochemical routes demonstrate significant potential, while photochemical pathways still require further development. The case studies confirm the practical feasibility of producing e-methanol from captured CO₂ and hydrogen generated from renewable sources. Together, the projects analyzed produce more than 46,320 tons of e-methanol per year, highlighting prospects for growth and technological optimization. With applications ranging from marine fuel to feedstock for the chemical industry, the e-methanol market is expanding and playing a fundamental role in the energy transition.

Keywords: E-methanol. Technological pathways. Literature review. Case study.

Introdução

1. Introdução

Nos últimos anos, a urgente necessidade de descarbonizar a economia global é o principal impulso pela procura de novas soluções energéticas. A adoção do Acordo de Paris, em 2015, foi o incentivo necessário aos quase 200 países comprometidos a atingirem a meta de manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2 °C, de preferência a 1,5 °C, acima dos níveis pré-industriais, por meio da busca de emissões líquidas zero [27]. Para isso, é crucial diversificar a matriz energética dos países e encontrar alternativas sustentáveis para os setores de difícil descarbonização, como o de aviação, transporte, marítimo e industrial.

É nesse cenário de transição energética que o Hidrogênio Verde (H₂V) surge como uma solução promissora para acelerar a transição para uma economia neutra em carbono. O hidrogênio é uma molécula gasosa incolor, inodora e inflamável, com temperatura de fusão e ebulição muito baixa, devido a sua fraca força de atração intermolecular [22]. Essas e outras propriedades destacam o H₂ como um combustível universal, leve e de alta reatividade, também utilizado como insumo e matéria-prima de forma ampla na indústria.

Com foco na descarbonização, foi desenvolvido o H₂V, que é produzido pelo processo de eletrólise, no qual uma corrente elétrica, oriunda de fontes renováveis, separa o hidrogênio e o oxigênio presentes na água [13]. Desse modo, o hidrogênio produzido

serve como principal matéria-prima na produção de diversos produtos verdes como os e-fuels.

Sendo os combustíveis sintéticos produzidos a partir de energia renovável, a utilização dos e-fuels é uma estratégia fundamental para a descarbonização em setores onde a eletrificação direta não é viável ou eficiente. Dentre eles, o metanol (MeOH) se destaca como um promissor commodity para diversos setores econômicos. Atualmente, ele é produzido em grandes volumes a partir de matérias-primas fósseis, e a sua produção deve aumentar para 500 megatoneladas (Mt) até 2050 [20], reforçando a necessidade da sua produção de forma mais sustentável. Assim, o metanol renovável é produzido pela combinação do H₂V e CO₂ capturado por meio de um processo de síntese.

Em 2023, o mercado de metanol foi avaliado em US \$350,9 milhões, com projeção de crescimento de US \$526,2 milhões em 2024 e US \$16.021,8 milhões em 2032 [9]. Por isso, atualmente são realizados diversos estudos para o melhor desenvolvimento desse combustível. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo identificar quais rotas tecnológicas são utilizadas na produção do e-metanol e analisar seu cenário mundial, a partir de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) e do estudo de casos de empreendimentos em fase de construção e operação.

O artigo está estruturado em quatro seções. Na seção 2 é discutido o método da pesquisa utilizada, na seção 3 os resultados e discussões, no qual a subseção 3.1 descreve sobre as rotas tecnológicas identificadas, e a subseção 3.2 apresenta os empreendimentos e os dados coletados de cada um. Por fim, a seção 4 apresenta a conclusão com as considerações finais, bem como recomendações de pesquisas futuras.

Metodologia

2. Métodos da pesquisa

Esta pesquisa adotou uma abordagem qualitativa e exploratória combinando uma RBS e estudos de casos múltiplos de plantas de produção de e-metanol em operação ou em construção, espalhadas pelo mundo. A RBS foi empregada para identificar as diferentes rotas tecnológicas de produção de metanol verde existentes atualmente, bem como sistematizar as vantagens e desvantagens de cada rota. Já o estudo de caso dos empreendimentos foi realizado para analisar o avanço da tecnologia em maior escala.

2.1. Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS)

A seleção dos 15 estudos utilizados foi realizada por meio de uma triagem inicial, a partir da leitura do título e resumo de cada artigo. Logo após foi realizada a extração de dados importantes, como a rota estudada, suas vantagens e desvantagens, os métodos utilizados na síntese de MeOH, os resultados e as limitações do estudo. Desse modo, base de dados

em formato de planilhas foram desenvolvidas para melhor visualização e organização dos conteúdos encontrados na RBS.

2.2. Estudo de Caso de Plantas de E-Metanol

Os objetos de estudo foram plantas de e-metanol construídas nos países: Dinamarca, Arábia Saudita, Islândia e China. Para a busca desses empreendimentos, foi utilizado o mapa da plataforma “*Methanol Institute*” onde inicialmente foi utilizado somente o filtro de plantas em status operacional, no qual foram encontrados 22 projetos [19]. A Figura 1 apresenta a quantidade de projetos abertos para operação por ano. Essas 22 plantas utilizam para a produção de e-metanol diversas matérias primas, dentre as quais somente se encaixa no escopo desse estudo a matéria prima de $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ (renovável). A Tabela 1 aponta que dos 22 projetos, somente 4 utilizam tal fonte, assim mostrando a necessidade de mais pesquisas na área. Por isso, foi acrescentado como critério adicional as plantas em status sob construção.

Posteriormente, com uso dos filtros de busca: “*E-methanol*”, “*Status Operational*” e “*Status Under Construction*” foram encontrados treze projetos. Com isso, para esta pesquisa foram incluídos 4 empreendimentos selecionados, que tiveram como critérios: A relevância para a problemática, a utilização de CO_2 e H_2 renovável como matéria prima, a disponibilidade de dados e informações, a utilização de energia eólica como uma das fontes utilizadas, com exceção da planta pioneira George Olah, que utiliza energia geotérmica. São eles: Kasso-I (Dinamarca), *ENOWA CO₂-to-methanol pilot* (Arábia Saudita), George Olah (Islândia) e Datang Wind Solar Hydrogen (China).

Ainda pelo mapa, foi possível obter os dados de localização (País e Cidade), Empresa(s) responsável(eis), ano de operação e capacidade da planta. Além disso, também foram utilizados como fonte de informação websites das empresas e notícias complementares para cada projeto. Os dados encontrados foram analisados para identificar a capacidade de produção, os investimentos, bem como as tendências tecnológicas envolvidas.

Resultados e Discussões

3. Resultados e discussões

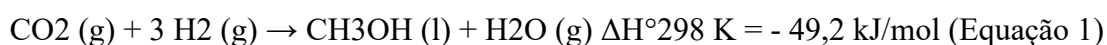
3.1. Resultados da RBS

Ao final da RBS, foram identificadas 9 rotas divididas em três categorias. Essas categorias representam diferentes abordagens tecnológicas para a produção de e-metanol. São elas: as Rotas termoquímicas, as Rotas eletroquímicas e suas variações e, por fim, as Rotas fotoquímicas e suas variações. A Tabela 2 mostra cada rota e em qual bloco elas se encontram.

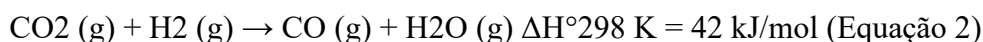
3.1.1. Rotas Termoquímicas

Também chamadas rotas termocatalíticas, transformam CO₂ e H₂V em metanol sob condições de temperatura e pressão com a aplicação de catalisadores que podem ser tanto heterogêneos quanto homogêneos. Fazem parte desse bloco 4 rotas tecnológicas, são elas: “Hidrogenação Termocatalítica direta de CO₂”, “*Reverse-Water Gas Shift* + Hidrogenação termocatalítica de CO”, “Hidrogenação termocatalítica direta de CO₂ trifásica” e “Hidrogenação termocatalítica direta e indireta homogênea”.

A Hidrogenação Termocatalítica direta de CO₂ é uma rota que converte diretamente o CO₂ e o H₂V em metanol (Equação 1). Dentre suas vantagens, em comparação com a rota indireta (Rota 2), ela apresenta menores custos de capital fixo, menor relação de retorno e maior valor líquido de redução de CO₂ [11]. Além disso, também apresenta uma avaliação econômica e ambiental superior. Quando o tempo para o lucro e o capital inicial é um fator crucial para a produção, a rota 1 é preferível [11]. Contudo, condições de processos mais brandas são necessárias, pois utiliza CO₂ ao invés de CO como precursor [25], ela também possui muitas limitações termodinâmicas, baixa seletividade e um lucro líquido inferior em comparação a Rota 2 [11] [4].



Na rota “*Reverse-Water Gas Shift* + Hidrogenação termocatalítica de CO” (Rota 2), o CO₂ e o H₂V são convertidos em e-metanol de forma indireta, passando pela produção de gás de síntese (CO+H₂), para partir para a produção de metanol (Equação 2) (Equação 3). Essa rota apresenta uma maior eficiência do processo e obtém maiores volumes de produção. Em comparação com a Rota direta, apresenta uma taxa máxima de produção maior (1057,62 toneladas/dia na rota direta e 1070,28 toneladas/dia na rota indireta) [11]. Além disso, por usar um reator de deslocamento de gás com água reversa eletrificado, tem uma melhor eficiência energética geral. Ela também permite a simplificação do processo [4]. Entretanto, entre suas desvantagens, sabe-se que é menos eficaz a partir de uma análise ambiental e possui uma taxa de retorno sobre o investimento de cerca de 8 anos, maior que a da rota direta, que é de 7 anos [11].



A rota de Hidrogenação termocatalítica direta de CO₂ trifásica (Rota 3) utiliza catalisadores heterogêneos e solventes na síntese de MeOH. Por usar os solventes, ela torna o processo viável a temperaturas de reação mais baixas, e já que a síntese de metanol é uma reação sensível à temperatura, ela apresenta melhores condições e maior rendimento da produção de MeOH [21] [2]. Porém, apesar disso, a presença do solvente na reação adiciona complexidade ao processo e aumenta os custos de separação por conta da alta volatilidade dos álcoois por exemplo [21]. Com isso se conclui que essa rota é uma alternativa promissora, mas que necessita de mais avanços tecnológicos e pesquisas.

Por fim, a Hidrogenação termocatalítica direta ou indireta homogênea (Rota 4) tem como diferencial a utilização de um catalisador homogêneo, ou seja, um catalisador que está no mesmo estado dos reagentes podendo ser gasoso ou líquido, diferente dos demais catalisadores que são sólidos. Ela permite que o metanol seja sintetizado a temperaturas amenas e condições brandas, assim possibilitando mais locais onde a energia limpa pode ser fornecida de forma estável e suficiente e uma melhor seletividade. Mas ainda há necessidade de pesquisas para melhorar o refinamento e a separação da solução resultante e para o desenvolvimento de um catalisador homogêneo estável [24] [16] [26].

3.1.2. Rotas Eletroquímicas

As rotas eletroquímicas, também chamadas de eletrocatalíticas, tem como base a conversão direta de CO₂ e água em e-metanol. O processo é impulsionado pela aplicação de eletricidade em eletrolisadores, que utilizam eletrocatalisadores como eletrodos. Duas rotas tecnológicas foram identificadas neste bloco, a “Eletrorredução de CO₂ direta” e a “Eletrorredução de CO₂ + Hidrogenação termocatalítica de CO”.

A Eletrorredução de CO₂ direta (Rota 5) converte CO₂ diretamente em metanol, por meio da eletricidade. Ao ser comparada com a rota indireta (Rota 6), essa rota apresenta mais desvantagens atualmente, mas com previsão de melhorias para o futuro. Atualmente possui uma menor eficiência faradaica (77%), menor densidade de corrente (41.5 mA/m²), maior Preço Mínimo de Venda (\$13.62) e menor TRL. Todavia tem tendência para ficar mais barata no futuro (\$0.43) em comparação a indireta (\$0.80) e para superar a eficiência de carbono da Rota 6 (94.7%) [12].

A Eletrorredução de CO₂ + Hidrogenação termocatalítica de CO (Rota 6) é uma rota indireta, pois converte o CO₂ em CO para partir para o metanol. Em comparação a rota direta ela se mostra como uma melhor opção a curto prazo, pois apresenta uma maior eficiência de carbono (91.5%), que se manterá estável durante os anos, uma melhor eficiência faradaica (98%), maior densidade de corrente (350 mA/cm²), menor Preço Mínimo de Venda atual (\$1.61) e maior TRL. Mas no futuro, a rota direta será mais barata e a eficiência de carbono maior [12].

3.1.3. Rotas Fotoquímicas

As rotas fotoquímicas, também chamadas de rotas fotocatalíticas, para a conversão do CO₂ e água em e-metanol, utilizam a incidência de radiação eletromagnética no espectro visível para acionar os fotocatalisadores. Desse modo, fazem parte desse bloco 3 rotas a “Fotocatálise direta” a “Fotocatálise + Hidrogenação termocatalítica de CO” e a “Fotoeletroredução de CO₂”.

A Fotocatálise direta (Rota 7) tem como vantagem a combinação de luz e energia térmica para a ativação dos catalisadores, possibilitando também a sustentação das reações em temperaturas mais baixas. A luz também pode ser usada para aumentar a seletividade de reação do metanol. Contudo, poucos catalisadores eficientes para essa rota foram descobertos [15] [17].

Já a rota de Fotocatálise + Hidrogenação termocatalítica de CO (Rota 8), assim como as demais rotas com hidrogenação termocatalítica de CO, é um caminho de transformação indireta. Ela possui características semelhantes em vantagens e desvantagens da rota 7. Já que usam a luz solar, a qual é uma fonte abundante e infinita, as reações fotocatalíticas podem ocorrer em larga escala, mas existem poucos estudos sobre essa vertente [29].

A Fotoeletroredução de CO₂ (Rota 9) utiliza a luz e a eletricidade como fatores essenciais. A redução fotoeletroquímica pode ser considerada uma das rotas mais eficazes devido ao seu baixo consumo de energia e alta eficiência, mas a baixa taxa de reação dessa rota e a pobre seletividade aos produtos-alvo limitam a sua aplicação [18].

3.2. Resultado do Estudo das plantas de produção de e-metanol

Para complementar a RBS, foram analisados 4 projetos de plantas de produção de e-metanol ao redor do mundo. O objetivo deste estudo de casos foi entender a aplicação prática da produção de e-metanol no mercado (Tabela 3).

3.2.1. Kasso – I

O Kasso - I é um projeto localizado em Kasso, na Dinamarca, das empresas *European Energy* e Mitsui. Entrou em operação em 2025, tem capacidade de produção de 42 kT por ano, usa como fonte de energia a solar e a eólica, com a energia solar vindo do Parque Solar de Kasso com 304 MW. Utiliza um eletrolisador com capacidade de 52 MW, utiliza CO₂ biogênico capturado como fonte, no qual 60 kT são utilizados anualmente, e tem um TRL inicial e final igual a 9. Ele visa produzir e-metanol com uma pegada de carbono até 97% menor. O hidrogênio utilizado é fornecido por uma usina eletrolisadora de 50 MW fornecida pela *Siemens Energy* [28].

Seus principais *offtakers* são navios, caminhões e indústria de plásticos. O grupo LEGO, a empresa de transporte marítimo Maersk, a Nova Nordisk e a varejista de combustíveis Circle K, são os compradores do e-metanol da Kasso [8]. Seu metanol também irá abastecer o primeiro navio porta-contêineres movido a metanol, *Laura Mærsk*. Durante

sua construção houve 100 trabalhadores, dos quais metade eram moradoras locais, após a construção tem cerca de 30 funcionários em tempo integral [7].

3.2.2. ENOWA CO₂-to-methanol pilot

É um projeto em fase de construção localizado em Oxagon na Árabia Saudita das empresas ENOWA (subdivisão NEOM) e Aramco. Tem previsão para abertura em 2025, usa como fonte de energia solar e eólica, e gerará 12 toneladas de metanol por dia. Tem como objetivo principal a transformação do e-metanol em gasolina, produzindo 35 barris de gasolina por dia, portanto tem como *offtaker* veículos. A planta utilizará um eletrolisador com 20 MW de capacidade para produção de hidrogênio verde, e tem potencial de reduzir as emissões de CO₂ em mais de 70% ao longo do seu ciclo de vida [3]. A empresa afirma que "Ao substituir fontes de energia fóssil por renovável e ao utilizar o CO₂ capturado para a produção de diversos produtos, as emissões de CO₂ podem ser significativamente reduzidas ou evitadas" [1]. A conversão direta de CO₂ em metanol usando hidrogênio é particularmente adequada [1].

3.2.3. George Olah

Essa planta foi inaugurada no ano de 2012, está localizada em Grindavik na Islândia, e pertence à empresa *Carbon Recycling International (CRI)*. Mesmo utilizando energia geotérmica como fonte de energia, ao invés de usinas eólicas, ela foi inserida como objeto de estudo pela sua relevância por ser a primeira planta de e-metanol que utiliza CO₂ e H₂V como matéria prima. Ela utiliza 4500 toneladas de CO₂ capturado da usina geotérmica adjacente ao ano e teve um TRL final igual a 8.

Em sua produção, o H₂ e o CO₂ reagem cataliticamente formando metanol [5], assim gerando 5.000.000 L de metanol no ano [6]. Nessa planta, a remoção e a purificação da água são realizadas pela destilação na fase final do processo, utilizando vapor geotérmico. Assim, os únicos produtos químicos liberados ao final são o oxigênio após a eletrólise e a água tratada da destilação. Com isso ela reduz de 80% a 90% as emissões de CO₂ [5].

3.2.4. Datang Wind Solar Hydrogen

Esse é um projeto em estado de construção, localizado em Duolun County na China, pertencente a empresa Datang Duolun Coal Chemical, sendo um complexo petroquímico. Os principais produtos químicos que serão produzidos neste complexo incluem metanol, polipropileno e propileno, sendo o metanol o responsável pela maior parte da sua capacidade anual. A planta de metanol renovável tem previsão para ser inaugurada em 2025, e utilizará energia eólica e solar [23] com capacidade de produção de 28 kT [19].

Conclusão

4. Considerações finais, conclusões e recomendações

Em suma, neste estudo foi possível concluir que a busca pela descarbonização da economia tem impulsionado a procura de novos vetores energéticos renováveis, como o e-metanol, se destacando como uma alternativa promissora. A pesquisa atingiu seu objetivo de identificar as rotas tecnológicas para a produção de e-metanol, e de analisar o cenário mundial por meio da RBS e do estudo de caso de empreendimentos.

Através da revisão da literatura, foram elencadas 9 rotas de produção divididas em três blocos: termoquímicas, eletroquímicas e fotoquímicas. Foi identificado que o bloco das Rotas Termoquímicas é o mais estudado na indústria, sendo a Rota 1 a mais utilizada para a produção de metanol renovável. Outras Rotas muito promissoras são as rotas 5 e 6, sendo a rota indireta mais propensa para uma aplicação a curto prazo do que a direta. O bloco das fotocatalíticas necessita de mais estudos para avaliar a confirmação das perspectivas promissoras dessa alternativa.

A análise das 4 plantas – Kasso-I (Dinamarca), *ENOWA CO₂-to-methanol pilot* (Arábia Saudita), George Olah (Islândia) e Datang Wind Solar Hydrogen (China) – demonstrou a aplicação prática e o potencial e crescente interesse no mercado de e-metanol. Foram escolhidos projetos que utilizam como matéria prima CO₂ e H₂V renovável, por se encaixar no escopo do estudo. A diversidade de offtakers dessas plantas, como o grupo LEGO, para a fabricação de plásticos, combustível para navios como o Laura Maersk, e de gasolina para veículos confirma o vasto potencial comercial deste insumo. E o fato de a planta George Olah ter sido pioneira no ano de 2012 mostra a maturação e crescimento do mercado.

Desse modo, como recomendações para trabalhos futuros, tem-se: o aprofundamento das rotas fotoquímicas, visando superar os gargalos atuais encontrados em seu processo; investigação e desenvolvimento de catalisadores e solventes mais estáveis e de maior eficiência para as todas as rotas operarem em melhores condições; a realização de análises técnico-econômicas e de ciclo de vida de novos empreendimentos para avaliar seu impacto ambiental e a viabilidade econômica projetada.

Referências

Referências bibliográficas

1. AGUINALDO, Jennifer. **Neom's Enowa plans synthetic fuels pilot project | MEED**. MEED. Disponível em: <<https://www.meed.com/neoms-enowa-plans-synthetic-fuels-pilot-project>>. Acesso em: 22 jul. 2025.
2. ALHARTHI, Abdulrahman I. et al. Low temperature green methanol synthesis by CO₂ hydrogenation over Pd/SiO₂ catalysts in slurry reactor. **Inorganic Chemistry Communications**, v. 142, p. 109688, 2022.

3. ARAMCO. **Aramco and ENOWA to develop first-of-its-kind e-fuel demonstration plant.** www.aramco.com. Disponível em: <<https://www.aramco.com/en/news-media/news/2023/aramco-and-enowa-to-develop-first-of-its-kind-efuel-demonstration-plant>>. Acesso em: 22 jul. 2025.
4. BASINI, L. E. et al. CO₂ capture and utilization (CCU) by integrating water electrolysis, electrified reverse water gas shift (E-RWGS) and methanol synthesis. **Journal of Cleaner Production**, v. 377, p. 134280, 2022.
5. CARBON RECYCLING INTERNATIONAL. **George Olah - Industrial Scale Renewable Methanol Plant.** CRI - Carbon Recycling International. Disponível em: <<https://carbonrecycling.com/projects/george-olah>>. Acesso em: 13 ago. 2025.
6. CO₂ VALUE EUROPE. **CCU Projects Database.** Co2value.eu. Disponível em: <<https://database.co2value.eu/projects/31>>. Acesso em: 13 ago. 2025.
7. EUROPEAN ENERGY. **Kassø Power-to-X facility Power-to-X facility Po w Media Kit.** [s.l.: s.n.], 2025. Disponível em: <<https://europeanenergy.com/wp-content/uploads/2025/03/media-kit-kasso.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2025.
8. EUROPEAN ENERGY. **Power-to-X - European Energy.** European Energy. Disponível em: <<https://europeanenergy.com/green-solutions/ptx/>>. Acesso em: 22 jul. 2025.
9. FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. **Tamanho do mercado de metanol verde, compartilhamento | Relatório Global [2032].** Fortunebusinessinsights.com. Disponível em: <<https://www.fortunebusinessinsights.com/pt/green-methanol-market-106875>>. Acesso em: 13 ago. 2025.
10. GOEPPERT, Alain; CZAUN, Miklos; JONES, John-Paul; et al. ChemInform Abstract: Recycling of Carbon Dioxide to Methanol and Derived Products - Closing the Loop. **ChemInform**, v. 46, n. 6, p. no-no, 2015.
11. HAGHIGHATJOO, Fatemeh; RAHIMPOUR, Mohammad Reza; FARSI, Mohammad. Techno-economic and environmental assessment of CO₂ conversion to methanol: direct versus indirect conversion routes. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 184, p. 109264, 2023.
12. HARRIS, Kylee; GRIM, R. Gary; TAO, Ling. **A Comparative Techno-Economic Analysis of Renewable Methanol Synthesis Pathways from Biomass and CO₂.** National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2021.
13. IBERDROLA. **Green hydrogen: an Alternative That Reduces Emissions and Cares for Our Planet.** Iberdrola. Disponível em: <<https://www.iberdrola.com/sustainability/green-hydrogen>>. Acesso em: 13 ago. 2025.
14. INAC, Selcuk; MIDILLI, Adnan. The integrated hydro-solar e-fuel production for a tea factory: Preliminary design and thermodynamic analysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 67, p. 979-990, 2024.
15. JIANG, Zaiyong; YUAN, Zhimin; DUCHESNE, Paul N; et al. A living photocatalyst derived from CaCu₃Ti₄O₁₂ for CO₂ hydrogenation to methanol at atmospheric pressure. **Chem Catalysis**, v. 3, n. 2, p. 100507–100507, 2023.
16. KOTHANDARAMAN, Jotheeswari et al. Conversion of CO₂ from air into methanol using a polyamine and a homogeneous ruthenium catalyst. **Journal of the American Chemical Society**, v. 138, n. 3, p. 778-781, 2016.

17. LORBER, Kristijan ; PETAR DJINOVIC. Accelerating photo-thermal CO₂ reduction to CO, CH₄ or methanol over metal/oxide semiconductor catalysts. **iScience**, v. 25, n. 4, p. 104107–104107, 2022.
18. LUO, Yiqing et al. Enhanced photo-electrochemical reduction of CO₂ into methanol at CuInS₂/CuFeO₂ thin-film photocathodes with synergistic catalysis of oxygen vacancy and S–O bond. **Applied Surface Science**, v. 648, p. 159033, 2024.
19. METHANOL INSTITUTE. **Renewable Methanol**. METHANOL INSTITUTE. Disponível em: <<https://www.methanol.org/renewable/>>. Acesso em: 13 ago. 2025.
20. METHANOL INSTITUTE. **What is Methanol, its uses, energies**. METHANOL INSTITUTE. Disponível em: <<https://www.methanol.org/>>. Acesso em: 13 ago. 2025.
21. NIEMINEN, Harri; LAARI, Arto; KOIRANEN, Tuomas. CO₂ hydrogenation to methanol by a liquid-phase process with alcoholic solvents: a techno-economic analysis. **Processes**, v. 7, n. 7, p. 405, 2019.
22. NOVAIS, Stéfano Araújo. **"Hidrogênio"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/hidrogenio.htm>. Acesso em 17 de agosto de 2025.
23. OFFSHORE TECHNOLOGY. **Petrochemicals complex profile: Datang Inner Mongolia Duolun Coal Chemical Company Duolun Complex, China**. Offshore Technology. Disponível em: <https://www.offshore-technology.com/marketdata/datang-inner-mongolia-duolun-coal-chemical-company-duolun-complex-china/?utm_source=lgp5-og-asset-profiles&utm_medium=20-184782&utm_campaign=recommended-articles&cf-view>. Acesso em: 14 ago. 2025.
24. ONISHI, Naoya; HIMEDA, Yuichiro. CO₂ hydrogenation to methanol by organometallic catalysts. **Chem Catalysis**, v. 2, n. 2, p. 242-252, 2022.
25. PRATSCHNER, Simon et al. Techno-economic assessment of a power-to-green methanol plant. **Journal of CO₂ Utilization**, v. 75, p. 102563, 2023.
26. SEN, Raktim; GOEPPERT, Alain; PRAKASH, GK Surya. Integrated carbon capture and utilization to methanol with epoxide-functionalized polyamines under homogeneous catalytic conditions. **Journal of Organometallic Chemistry**, v. 965, p. 122331, 2022.
27. UNFCCC, **The Paris agreement**, United Nations Climate Change, disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>>.
28. UNIVERSITY OF SOUTHERN DENMARK. **ptx-plant-in-kassoe**. sdu. Disponível em: <<https://www.sdu.dk/en/forskning/cim/researchprojects/ptx-plant-in-kassoe>>. Acesso em: 22 jul. 2025.
29. WANG, Lu et al. Photocatalytic hydrogenation of carbon dioxide with high selectivity to methanol at atmospheric pressure. **Joule**, v. 2, n. 7, p. 1369-1381, 2018.

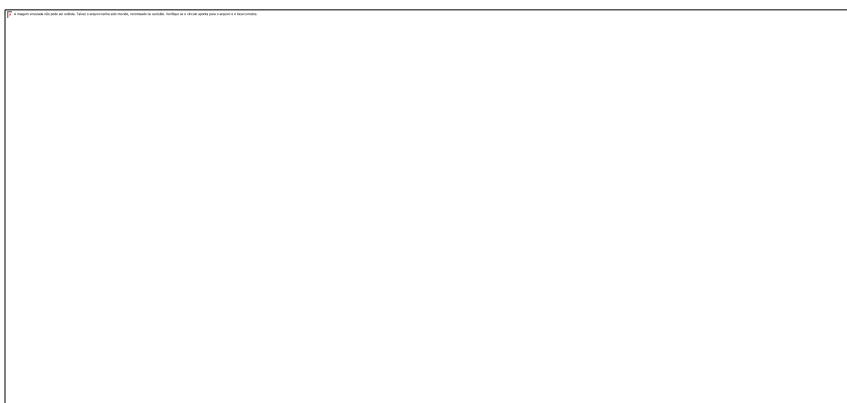


Figura 1 - Quantidade de Plantas de E-metanol abertas para operação nos anos. Fonte: Dados do Methanol Institute [19]

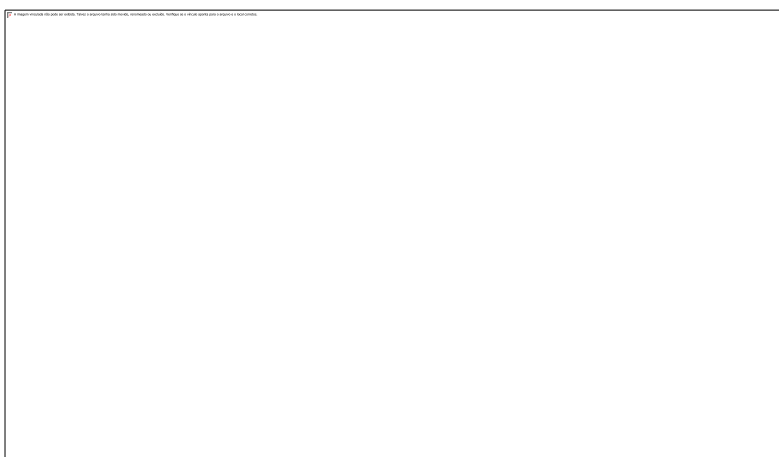


Tabela 1 - Quantidade de Plantas em status de operação por Matéria Prima utilizada. Fonte: Dados do Methanol Institute [19]

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the content of Tabela 1.

Tabela 2 - Divisão das 9 rotas encontradas. Fonte: Autoria Própria

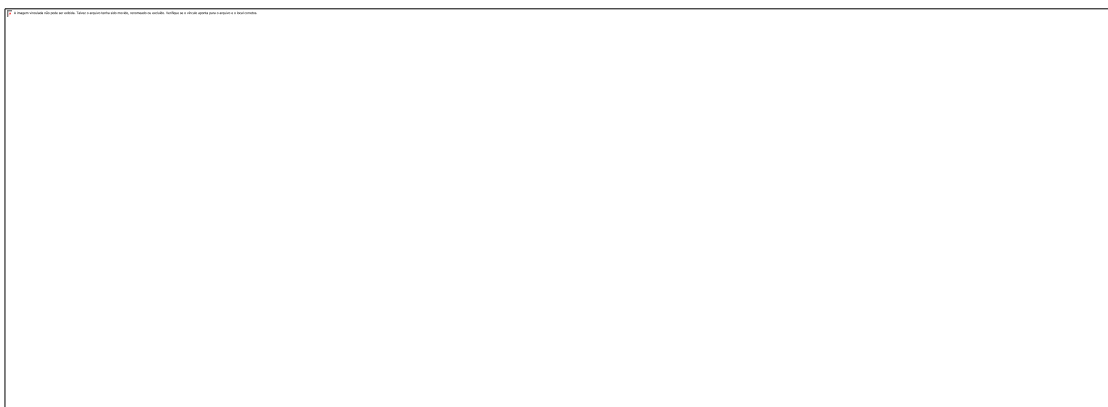


Tabela 3 - Dados obtidos pelo mapa de Plantas de e-metanol Fonte: Methanol Institute
[19]

CÓDIGO: ET0248

AUTOR: FELLIPE NOGUEIRA MILOMEM

ORIENTADOR: IVANOVITCH MEDEIROS DANTAS DA SILVA

TÍTULO: Desenvolvimento de Soluções Frontend Inteligentes para Monitoramento de Poluição Veicular Utilizando IA Generativa

Resumo

A poluição veicular representa um desafio ambiental e de saúde pública, exigindo soluções tecnológicas eficazes para monitoramento e diagnóstico em tempo real. Este trabalho enfrenta essa problemática propondo e desenvolvendo um sistema integrado que combina um sistema embarcado para diagnóstico inteligente e uma interface frontend para visualização de dados de emissões. A inovação reside na arquitetura embarcada, implementada em um dispositivo Raspberry Pi, que integra TinyML para detecção de anomalias em tempo real e Modelos Linguísticos (IA Generativa) para traduzir diagnósticos técnicos em mensagens claras para o usuário. Essa abordagem permite o processamento na borda da rede (edge computing), minimizando a latência e a dependência de conectividade. As duas aplicações foram testadas em cenários controlados e real, validando a eficácia da arquitetura embarcada e a usabilidade do frontend. Os resultados demonstram a viabilidade e a eficácia de uma abordagem integrada de IA embarcada para o monitoramento ambiental e a manutenção veicular preventiva, contribuindo diretamente para a sustentabilidade.

Palavras-chave: Poluição Veicular, TinyML, IA Generativa, Sistemas Embarcados, Monitor

TITLE: Development of Intelligent Frontend Solutions for Vehicular Pollution Monitoring Using Generative AI

Abstract

Vehicle pollution represents an environmental and public health challenge, requiring effective technological solutions for real-time monitoring and diagnosis. This work addresses this problem by proposing and developing an integrated system that combines an embedded system for intelligent diagnosis and a frontend interface for visualizing

emission data. The innovation lies in the embedded architecture, implemented on a Raspberry Pi device, which integrates TinyML for real-time anomaly detection and Language Models (Generative AI) to translate technical diagnoses into clear messages for the user. This approach allows for processing at the network edge (edge computing), minimizing latency and dependence on connectivity. Both applications were tested in controlled and real scenarios, validating the effectiveness of the embedded architecture and the usability of the frontend. The results demonstrate the viability and effectiveness of an integrated embedded AI approach for environmental monitoring and preventive vehicle maintenance, directly contributing to sustainability.

Keywords: Vehicle Pollution, TinyML, Generative AI, Embedded Systems, Environmen

Introdução

O controle da poluição veicular é um dos pilares para o desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis. Poluentes como CO₂, CO, NO_x e material particulado (PM) emitidos por veículos automotores têm um impacto direto na saúde humana e no agravamento das mudanças climáticas. Diante desse cenário, soluções tecnológicas que permitam o monitoramento em tempo real e o diagnóstico precoce de falhas de emissão são de extrema importância.

Este projeto de iniciação científica foi motivado pela necessidade de desenvolver um sistema completo, que não apenas visualize os dados de poluição, mas também os analise na sua fonte. Para isso, o trabalho se divide em duas partes principais: uma aplicação frontend para visualização de dados e uma arquitetura embarcada para diagnóstico veicular. A parte embarcada utiliza tecnologias, como TinyML e Modelos Linguísticos, para processamento de dados na borda (edge computing) diretamente no veículo, superando limitações de latência e consumo de energia. O desenvolvimento do frontend, por sua vez, foi otimizado com a utilização de IA Generativa para automação e melhoria do código.

Este relatório final sintetiza a jornada de pesquisa e desenvolvimento. Os resultados obtidos são técnicos e científicos, e foram reconhecidos com a aprovação de um artigo na área, intitulado "Arquitetura Embarcada com TinyML e Modelos Linguísticos para Monitoramento Veicular Inteligente", para apresentação no Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBRT) 2025. Este reconhecimento valida a originalidade e a contribuição do projeto para a comunidade acadêmica.

Metodologia

A metodologia adotada foi estruturada em três frentes de trabalho interdependentes: pesquisa, desenvolvimento e validação.

1. Revisão Bibliográfica e Análise de Requisitos

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa aprofundada sobre a monitorização de poluição veicular, as tecnologias de coleta de dados via OBD-II e as plataformas de hardware embarcado. Paralelamente, foram estudadas as arquiteturas de TinyML e Modelos Linguísticos em ambientes de baixo poder de processamento. A pesquisa também incluiu a análise de frameworks de desenvolvimento frontend, como o React e Electron, e ferramentas de IA Generativa para otimização de código.

2. Desenvolvimento das Soluções

Arquitetura Embarcada: Foi concebida e implementada uma aplicação em Electron para um dispositivo de tela acoplado ao Raspberry Pi, funcionando como a unidade de diagnóstico veicular. Esta aplicação foi configurada para coletar dados do veículo através da porta OBD-II, como rotação do motor, velocidade e emissões. Utilizando um modelo de TinyML, treinado para detectar anomalias nos dados, o sistema realiza diagnósticos em tempo real. Além disso, Modelos Linguísticos de IA generativa foram integrados para traduzir os dados técnicos em mensagens de diagnóstico claras e compreensíveis para o usuário.

Solução Frontend: A interface de usuário foi desenvolvida com o framework React para visualizar os dados de poluição e os diagnósticos enviados pela unidade embarcada, como gráficos de séries temporais e mapas de calor.

3. Testes e Validação

As soluções foram testadas em ambientes simulados e reais, onde a unidade embarcada processava dados coletados em cenários reais de uso, além de dados simulados. A aplicação frontend foi validada em relação à sua usabilidade e precisão na visualização. A eficácia da arquitetura embarcada, que une TinyML e Modelos Linguísticos, foi confirmada e, como evidência de validação científica, o trabalho foi submetido e aceito para publicação e apresentação no SBrT 2025.

Resultados e Discussões

O projeto obteve resultados notáveis, demonstrando a viabilidade técnica, a eficácia da abordagem proposta e sua relevância para a área de monitoramento veicular.

A arquitetura embarcada mostrou-se eficaz na sua missão de processamento em tempo real. A utilização do TinyML foi importante, permitindo a análise de dados de emissão e a detecção de anomalias diretamente no dispositivo embarcado. Isso não apenas minimizou a latência, mas também reduziu a dependência da conectividade com a nuvem, tornando o sistema robusto e autônomo.

A integração dos Modelos Linguísticos (LLMs) representou um avanço. Eles traduziram saídas técnicas do TinyML (ex: códigos de erro OBD-II ou leituras de sensores fora do padrão) em diagnósticos claros e legíveis para o usuário. Além disso, a capacidade de gerar mensagens de áudio (como "Informando em tempo real por meio do áudio") demonstrou a versatilidade da interface.

A aplicação frontend, desenvolvida com React, comprovou a sua eficácia na visualização de dados. Com painéis de controle intuitivos e interativos, os usuários puderam visualizar a saúde do veículo, os níveis de poluição e o histórico de diagnósticos de forma clara e acessível. Gráficos de séries temporais e mapas de calor permitiram uma compreensão rápida do desempenho do veículo. O sistema foi projetado para enviar alertas e diagnósticos precisos em tempo real, diretamente da unidade embarcada para a interface do usuário, garantindo uma experiência fluida e proativa.

Por fim, a aprovação do artigo no SBrT 2025 também é um resultado importante para o projeto. A aceitação para publicação e apresentação no simpósio, valida a inovação e o rigor científico da arquitetura proposta.

Conclusão

Este projeto de iniciação científica alcançou seus objetivos de desenvolver uma solução integrada para o monitoramento e diagnóstico da poluição veicular. A pesquisa e o desenvolvimento culminaram em uma arquitetura, que combina o TinyML e Modelos Linguísticos em um dispositivo embarcado. Essa abordagem permite o processamento inteligente na borda da rede, minimizando a latência e a dependência de conectividade. A aprovação e publicação de um artigo científico no SBrT 2025 reforçam a originalidade e o impacto do trabalho, posicionando-o como uma contribuição relevante para a área de sistemas inteligentes e sustentabilidade.

Adicionalmente, o frontend foi desenvolvido como uma interface de usuário para visualizar os dados de forma clara e intuitiva. Como perspectivas futuras, sugere-se a expansão do sistema para uma frota de veículos e a implementação de modelos de IA preditivos para antecipar falhas de emissão.

Referências

Learning from the real-world: Insights on light-vehicle efficiency and CO2 emissions from long-term on-board fuel and energy consumption data collection

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890425003395>

Insights into transportation CO2 emissions with big data and artificial intelligence

[https://www.cell.com/patterns/fulltext/S2666-3899\(25\)00034-0](https://www.cell.com/patterns/fulltext/S2666-3899(25)00034-0)

IVEMPS: IoT-Based Vehicle Emission Monitoring and Prediction System

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11009199>

Scheduling and Routing of Device Maintenance for an Outdoor Air Quality Monitoring IoT

<https://www.mdpi.com/2071-1050/17/14/6522>

CÓDIGO: ET0277

AUTOR: DAIANE DE LIMA TEIXEIRA

COAUTOR: OSVALDO CHIAVONE FILHO

COAUTOR: NATHALIA SARAIVA RIOS

COAUTOR: FRANCISCO BRUNO FERREIRA DE FREITAS

ORIENTADOR: EVERALDO SILVINO DOS SANTOS

TÍTULO: BIODEGRADAÇÃO DE HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS (HPA's) UTILIZANDO MICRORGANISMOS IMOBILIZADOS

Resumo

O estudo teve como objetivo demonstrar a eficiência da imobilização da *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIIA em fibra de coco para a biorremediação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's). A metodologia mostrou a eficácia do pré-tratamento alcalino do suporte, que otimizou a adesão celular confirmada por MEV, e comprovou a natureza biótica do processo. A análise comparativa de desempenho revelou que o sistema imobilizado ao final de 10 dias removeu 94,47% do fenantreno (FEN) e 100% do 2-metilnaftaleno (2-MN), enquanto a bactéria livre degradou apenas 39,06% e 95,91% dos respectivos compostos. O desempenho do sistema imobilizado foi mais rápido e efetivo, com remoção superior a 73% para ambos os HPAs já no primeiro dia. A técnica superou as limitações de biodisponibilidade e complexidade estrutural do fenantreno. Dessa forma, a imobilização da *Pseudomonas* na fibra de coco é uma estratégia eficaz, se mostrando uma ótima alternativa para o tratamento de contaminantes derivados do petróleo.

Palavras-chave: *Pseudomonas aeruginosa*, biorremediação, HPA's

TITLE: BIODEGRADATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAHs) USING IMMOBILIZED MICROORGANISMS

Abstract

The study aimed to demonstrate the efficiency of immobilizing *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIIA on coconut fiber for the bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). The methodology showed the effectiveness of

the support's alkaline pretreatment, which optimized cellular adhesion—confirmed by SEM—and verified the biotic nature of the process. A comparative performance analysis revealed that after 10 days, the immobilized system removed 94.47% of phenanthrene (PHE) and 100% of 2-methylnaphthalene (2-MN), whereas the free bacteria degraded only 39.06% and 95.91% of the respective compounds. The performance of the immobilized system was faster and more effective, with over 73% removal for both PAHs achieved within the first day. The technique overcame the limitations of phenanthrene's bioavailability and structural complexity. Therefore, the immobilization of *Pseudomonas* on coconut fiber is an effective strategy, proving to be an excellent alternative for the treatment of petroleum-derived contaminants.

Keywords: *Pseudomonas aeruginosa*, bioremediation, PAHs

Introdução

No mundo atual, o petróleo desempenha um papel muito importante na nossa sociedade, sendo a principal fonte de energia e matéria-prima para diversos produtos como borrachas e plásticos (Adipah, 2018). Os hidrocarbonetos presentes no petróleo são descritos como sendo uma mistura de compostos orgânicos. Nesse sentido, o petróleo tem um potencial extremamente tóxico para a vida marinha e terrestre (Chatterjee et al.).

Os hidrocarbonetos de petróleo mais comuns incluem os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs). No grupo dos HPAs estão presentes o naftaleno, fenantreno, antraceno, entre outros (Atlas e Hazen, 2011). Apesar do petróleo ser uma das principais fontes de energia, os hidrocarbonetos do petróleo presentes no ambiente causam um impacto negativo na saúde da população (Adipah, 2018). A partir do momento em que atingem o ambiente, eles geram diversos impactos biológicos negativos, como o bloqueio da camada de óleo na água, diminuindo os nutrientes e oxigênio (Adipah, 2018).

Uma exposição a esses hidrocarbonetos a longo prazo causa efeitos mutagênicos e tóxicos. Esses contaminantes são geralmente introduzidos de formas não naturais no ecossistema, como os causados por derramamento, gerando diversos problemas ambientais e sociais (Baboshin e Golovleva, 2012). Assim, há um interesse por pesquisar e desenvolver técnicas apropriadas, tanto ecológicas como econômicas (Semple et al., 2003).

Nos processos de remediação, para eliminação desses hidrocarbonetos, são muitos utilizados os processos químicos e físicos. No entanto, além do alto custo econômico, esses tipos de tratamentos causam diversos problemas ambientais (Chandra et al., 2012). Nesse sentido, as técnicas de biorremediação têm mostrado alta eficiência e baixo custo econômico, sendo uma alternativa atrativa para tratamento de áreas contaminadas pelo petróleo (Bhupathiraju et al., 2002). Assim, a biorremediação pode levar a degradação completa do poluente de maneira econômica e ambiental sustentável, tendo

como subprodutos CO₂ e água, sendo os microrganismos as principais fontes para a biorremediação dos hidrocarbonetos (Fuentes et al., 2014).

Apesar da biorremediação ser considerada uma técnica para descontaminação, o processo de biorremediação natural dos hidrocarbonetos é extremamente lento, devido a redução da solubilidade dos constituintes hidrofóbicos e sua biodisponibilidade para esses microrganismos. Assim, para melhorar os aspectos de biorremediação, um método eficaz consiste na imobilização das bactérias degradadoras de hidrocarbonetos com um material de suporte protetor, aumentando a eficiência e melhorando a resistência às condições do ambiente (Zhang et al., 2019).

A imobilização é uma técnica que fixa os microrganismos selecionados em um material de suporte. Esse suporte garante uma maior taxa de sobrevivência e a atividade metabólica das células, ao mesmo tempo que atrai e concentra os poluentes em sua superfície (processo de sorção). Essa proximidade forçada entre os microrganismos e os contaminantes otimiza a remoção do poluente (Lu et al., 2018).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo estudar a biodegradação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) por meio da ação da cepa *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIA imobilizada na suporte fibra de coco. Além disso, avaliou-se os fatores que interferem na atividade microbiana do imobilizado para determinar o melhor material de suporte, visando aumentar a degradação.

Metodologia

Materiais e microrganismo

Neste estudo foram utilizados o fenantreno (FEN), com grau de pureza de 98%, e o 2-metilnaftaleno (2-MN), com grau de pureza de 97%, em que foram adquiridos da Sigma-Aldrich. Com relação aos outros reagentes e solventes utilizados, todos foram de grau analítico. A fibra de coco utilizada foi cedida por uma empresa de água de coco local. Nos ensaios de biodegradação, o microrganismo utilizado foi a bactéria *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIA, oriunda de um poço de petróleo localizado em Canto do Amaro (Mossoró/RN) e pertencente à coleção de culturas do Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

2.2. Imobilização do microrganismo em fibra de coco

Antes de realizar a imobilização do microrganismo, as cascas de coco foram cortadas em tamanhos menores. Em seguida, os pedaços da casca foram moídos e a fibra de coco foi peneirada, sendo utilizada a fibra de tamanho entre

20 a 48 mesh. Logo após, foi realizado o pré-tratamento alcalino da fibra utilizando hidróxido de sódio a 2% (m/v), com uma quantidade de sólidos de 10% (m/v). Por fim, a fibra foi lavada até chegar em pH neutro e, depois, foi seca a temperatura de 60°C, para posteriormente ser utilizada para a imobilização da *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIA.

As fibras de coco in natura foram caracterizadas quantos aos teores de extraíveis, polissacarídeos, lignina insolúvel e cinzas, conforme Ribeiro (2022).

Após realizado o pré-tratamento, foi colocado em um frasco de 250 mL a fibra de coco (10% m/v) e o meio Luria Bertani (LB) na concentração de 10 g/L de triptona, 5 g/L de extrato de levedura e 5 g/L de NaCl. Em seguida, foi realizada a inoculação com incubação em shaker (TE-421, TECNAL) a 25°C de temperatura a 150 rpm de agitação. Em seguida, a fibra de coco foi removida e enxaguada com água destilada esterilizada em abundância para remover qualquer resquício de células livres após 24 horas de incubação (Che Man et al., 2024).

Após a etapa de imobilização, os imobilizados e as fibras de coco in natura foram encaminhados para a microscopia de varredura eletrônica (MEV). Nessa etapa, a fim de garantir uma maior fixação das células bacterianas, as mesmas foram imersas em solução de glutaraldeído a 2,5% por 2 horas. Logo após, a fibra de coco foi enxaguada com água destilada e desidratada por imersão em soluções de etanol gradativamente mais secas (50%, 70%, 80%, 95% e 100%), por 30 minutos em cada concentração (Wu et al., 2009). Em seguida, foram revestidas com ouro e encaminhadas para a análise de MEV.

No ensaios de biodegradação, os cultivos foram realizados em frascos de vidro de 250 mL com tampa de rosca, com um pequeno orifício, contendo 10 mL de solução de hidróxido de sódio (1,0 M). Para determinar o potencial de biodegradação da *Pseudomonas* imobilizada na fibra de coco, foram realizados os seguintes ensaios: Meio líquido Bushnell Haas (BH) contendo a bactéria imobilizada em fibra de coco e os dois hidrocarbonetos estudados, fenantreno (FEN) (50 mg/L) e o 2-metilnaftaleno (2-MN) (350 mg/L); Meio líquido Bushnell Haas (BH) contendo a bactéria livre (DO600=0,4) e os dois HPA's nas concentrações já citadas anteriormente e meio líquido Bushnell Haas (BH) contendo apenas os dois HPA's. A degradação foi monitorada por 7 dias, com pontos de coleta nos tempos 0, 1, 3, 5, 7 e 10 dias de degradação, com os frascos mantidos sob agitação constante (150 ± 10 rpm) a uma temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

Para determinar as concentrações dos hidrocarbonetos não degradados e a porcentagem de biodegradação foram realizadas extrações utilizando hexano na concentração 1:1 (v/v) para, em seguida, serem conduzidas as análises por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), conforme Freitas (2024). Os hidrocarbonetos apresentaram tempos de retenção de 22,5 minutos e 22,8 minutos para o 2-MN e FEN, respectivamente.

Resultados e Discussões

Caracterização das fibras de coco in natura.

Na Tabela 1 estão representados os valores da composição centesimal da amostra in natura, com os valores da média e seus respectivos desvios. Os principais componentes analisados foram extraíveis, lignina, cinzas totais, celulose e hemicelulose.

A Tabela 1 apresenta a composição (%) da fibra de coco in natura. A análise revelou que os componentes majoritários da fibra foram os extraíveis, com um teor médio (%) de $37,32 \pm 3,38$, e a lignina com $33,8 \pm 3,6$. Esses altos teores justificam a necessidade da etapa de um pré-tratamento, uma vez que a lignina e os extraíveis recobrem as fibras, dificultando o processo de adesão microbiana. Os polissacarídeos, correspondentes à celulose, com $22,29 \pm 0,89$, e a hemicelulose, com $8,96 \pm 1,5$. Por fim, o conteúdo de cinzas totais foi de $3,72 \pm 0,45$. Exceto para o teor de hemicelulose, estes valores estão em concordância com os valores obtidos por Ribeiro (2022), que foram de 43,52 (%) de celulose, 24,89 (%) de lignina, 1,02 (%) de extraíveis e 1,21 (%) de cinzas.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para confirmar a imobilização das bactérias na fibra de coco, foi realizada uma análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV), cujas imagens estão apresentadas na Figura 1.

Na Figura 1, a imagem (a) apresenta a fibra de coco com uma superfície mais lisa, em que sua estrutura fibrosa não está exposta de forma clara, sugerindo a presença de lignina, extraíveis, celulose e outros compostos que recobrem as fibras, e assim dificultando a fixação do microrganismo.

A imagem (b), na Figura 1, mostra a fibra de coco após o processo de pré-tratamento, sendo possível visualizar a fibra de coco com sua estrutura mais porosa em comparação a anterior. Dessa forma, a fibra de coco é ideal para a imobilização microbiana, pois oferece inúmeros sítios para a adesão e procriação das bactérias.

Na imagem (c), na Figura 1, em destaque em vermelho, confirma-se o processo de imobilização, sendo possível visualizar as fibras de coco servindo como suporte para os microrganismos, que aparecem como pequenas estruturas arredondadas, e que estão alojadas entre os poros da fibra. Isso demonstra que a fibra pré-tratada funcionou como de forma eficaz, permitindo que a *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIA se fixasse na fibra de coco com sucesso.

Degradação do 2-metilnaftaleno e fenantreno

A Figura 2 mostra os percentuais de degradação dos HPAs ao longo de dez dias, comparando a eficiência das bactérias livres (em solução) com as bactérias imobilizadas na fibra de coco.

A partir dos resultados ilustrados na Figura 2, pode-se observar que nas amostras controle (sem bactérias), não ocorreu a degradação do fenantreno (FEN) e do 2-metilnaftaleno (2-MN), confirmando assim que o processo de remoção destes HPAs é um processo biótico. Este resultado demonstra que não ocorreu degradação abiótica sob as condições do experimento, destacando o papel indispensável do microrganismo na biorremediação.

Além disso, conforme Figura 2, observa-se que a utilização da bactéria em sua forma livre resultou em uma degradação lenta e mais limitada dos compostos. Para o Fenantreno (FEN), quase não houve degradação, apresentando remoção no primeiro dia de 0,00%, depois atingindo apenas 19,05% no quinto dia e um máximo de 39,06% ao final dos 10 dias. A bactéria livre foi mais eficaz na remoção do 2-Metilnaftaleno (2-MN), contudo o processo ainda foi lento, com 19,65% de degradação no primeiro dia, 72,64% no quinto e 95,91% ao final do experimento.

Em comparação, o sistema com a bactéria imobilizada demonstrou um desempenho superior. A degradação do 2-MN foi extremamente rápida, com uma remoção de 92,41% em apenas um dia e atingindo 100% já no quinto dia do experimento. O FEN também foi degradado de forma eficiente, com 73,76% de remoção no primeiro dia, progredindo para 87,48% no quinto dia e alcançando 94,47% após 10 dias.

A menor percentagem de degradação do FEN está diretamente relacionada à sua estrutura molecular. Por se tratar de uma molécula que contém três anéis aromáticos, o FEN possui maior toxicidade e baixa solubilidade em água, o que reduz sua biodisponibilidade para os microrganismos em suspensão. Além disso, para metabolizar esta molécula e utilizá-la como fonte de carbono, é necessário que o microrganismo possua um aparato enzimático específico e disponível para promover a clivagem dos anéis. Essa complexidade estrutural justifica a baixa eficiência de degradação observada quando a bactéria está livre no meio (Furlan, 2011).

Com relação à imobilização, ela aumenta a taxa de multiplicação e sobrevivência das células microbianas, diminuindo a competição, gerando uma disponibilidade maior de nutrientes, e aumentando a adaptabilidade das células ao meio onde se encontram imobilizadas. Além disso, no experimento foi demonstrado que a biorremediação é mais eficaz quando se utiliza um suporte para as células do que quando se utiliza as células livres, ou seja, sem nenhum material associado às células (ZHANG et al., 2020).

Conclusão

A análise comparativa de desempenho revelou a eficiência do sistema imobilizado. Ao final de 10 dias, a bactéria imobilizada alcançou a remoção de 94,47% do fenantreno e 100% do 2-metilnaftaleno, enquanto a bactéria em sua forma livre degradou apenas 39,06% e 95,91% dos respectivos compostos. O desempenho do sistema imobilizado mostrou-se mais completo e mais rápido, com a remoção superior a 73% para ambos os HPAs já no primeiro dia de teste. A técnica de imobilização foi capaz de diminuir as limitações da biodisponibilidade e complexidade estrutural do fenantreno, que se mostraram um obstáculo para a bactéria em suspensão.

Assim, pode-se concluir que a imobilização da *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIIA na fibra de coco possui potencial para ser aplicado no tratamento, por biodegradação, de contaminantes derivados de petróleo.

Referências

ADIPAH, S. Introduction of petroleum hydrocarbons contaminants and its human effects. *Journal of Environmental Science and Public Health*, v. 03, n. 01, 2018.

ATLAS, R. M.; HAZEN, T. C. Oil biodegradation and bioremediation: a tale of the two worst spills in U.S. history. *Environmental Science & Technology*, v. 45, n. 16, p. 6709–6715, 2011.

Baboshin, M. A., and L. A. Golovleva. "Aerobic Bacterial Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Its Kinetic Aspects." *Microbiology*, vol. 81, no. 6, Nov. 2012, pp. 639–650, <https://doi.org/10.1134/s0026261712060021>.

BHUPATHIRAJU, V. K. et al. Assessment of in-situ bioremediation at a refinery waste-contaminated site and an aviation gasoline contaminated site. *Biodegradation*, v. 13, n. 2, p. 79–90, 2002.

CHANDRA, S. et al. Application of bioremediation technology in the environment contaminated with petroleum hydrocarbon. *Annals of Microbiology*, v. 63, n. 2, p. 417–431, 2012.

CHATTERJEE, SANDIPAN, et al. "Bioremediation: A Tool for Cleaning Polluted Environments [Review Paper]." *Journal of Applied Biosciences*, vol. 11, 2008, pp. 594–601, www.m.elewa.org/JABS/2008/11/6.pdf. Accessed 21 Aug. 2025.

CHE MAN R, KHOLIJA ABDUL MUDALIP S, HASMALIANA ABDUL MANAS N, ZUBAIDAH SULAIMAN S, PAHANG AL-SULTAN ABDULLAH M, PERSIARAN TUN KHALIL YAAKOB L, Effect of Process Parameters on Immobilization of Recombinant *Escherichia coli* on Coconut Fiber. *J. Chem. Eng. Ind. Biotechnol.*, v. 10, p. 17–24, 2024.

FREITAS, Francisco Bruno Ferreira de. Biodegradação de 2-metilnaftaleno e fenantreno por pseudomonas aeruginosa AP029-glviia na presença de dispersante industrial em meio aquoso. Orientador: Dr. Everaldo Silvino dos Santos. 2024. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

FUENTES, S. et al. Bioremediation of petroleum hydrocarbons: catabolic genes, microbial communities, and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 98, n. 11, p. 4781–4794, 2014.

FURLAN, B. Biodegradação de naftaleno, fenantreno e diesel por isolados do gênero Burkholderia da Amazônia. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/entities/publication/b741c84e-7ead-4fcc-a631-fd2b81487f92>>. Acesso em: 14 ago. 2025.

KUMARI, B.; SINGH, D. P. A review on multifaceted application of nanoparticles in the field of bioremediation of petroleum hydrocarbons. *Ecological Engineering*, v. 97, p. 98–105, 2016.

LU, L. et al. Removal of acenaphthene from water by Triton X-100-facilitated biochar-immobilized *Pseudomonas aeruginosa*. *RSC Advances*, v. 8, n. 41, p. 23426–23432, 2018.

Ribeiro, VT, Campolina, AC, da Costa, WA et al. Produção de etanol a partir de fibra de coco verde utilizando explosão sequencial de vapor e pré-tratamento alcalino. *Biomass Conv. Bioref.* 14 , 8579–8589 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03100-0>

SEMPLE, K. T.; MORRISS, A. W. J.; PATON, G. I. Bioavailability of hydrophobic organic contaminants in soils: fundamental concepts and techniques for analysis. *European journal of Soil Science*, v. 54, n. 4, p. 809–818, 2003.

WU L, GE G, WAN J, Biodegradation of oil wastewater by free and immobilized *Yarrowia lipolytica* W29. *J. Environ. Sci.*, v. 21, p. 237–242, 2009.

ZHANG, B. et al. Bead-immobilized *Pseudomonas stutzeri* Y2 prolongs functions to degrade s-triazine herbicides in industrial wastewater and maize fields. *Science of The Total Environment*, v. 731, p. 139183–139183, 2020.

ZHANG, B.; ZHANG, L.; ZHANG, X. Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by petroleum-degrading bacteria immobilized on biochar. *RSC Advances*, v. 9, n. 60, p. 35304–35311, 2019.

Anexos

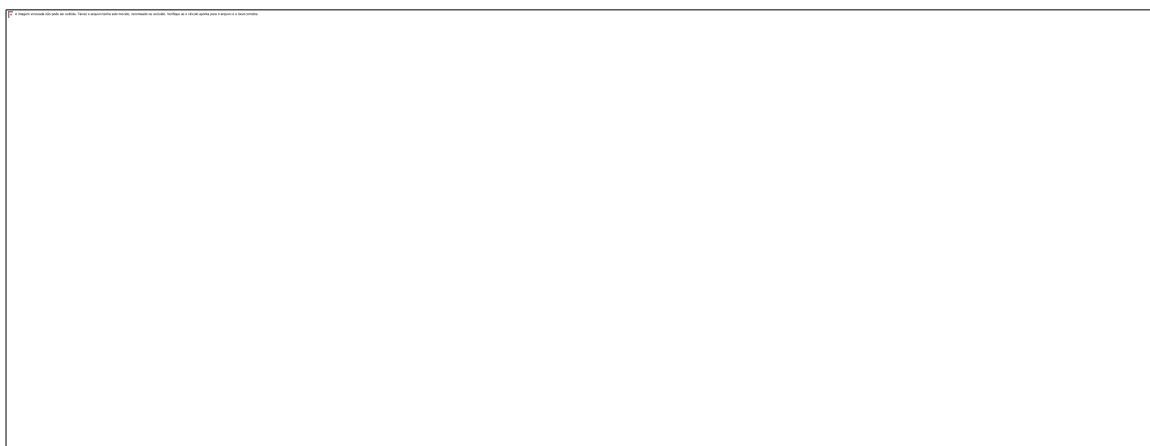


Tabela 1: Composição da fibra de coco in natura (%)

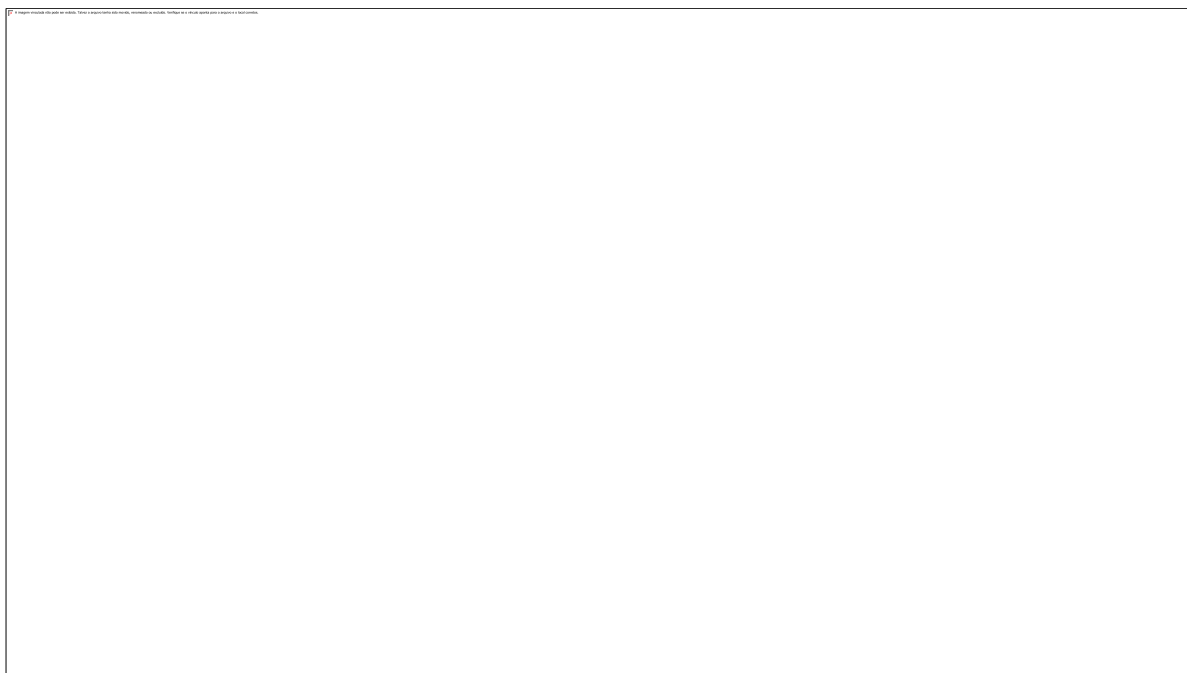


Figura 1: Micrografia da fibra de coco (a) In natura (b) pré tratada e (c) depois do processo de imobilização celular com ampliação de 3000x.

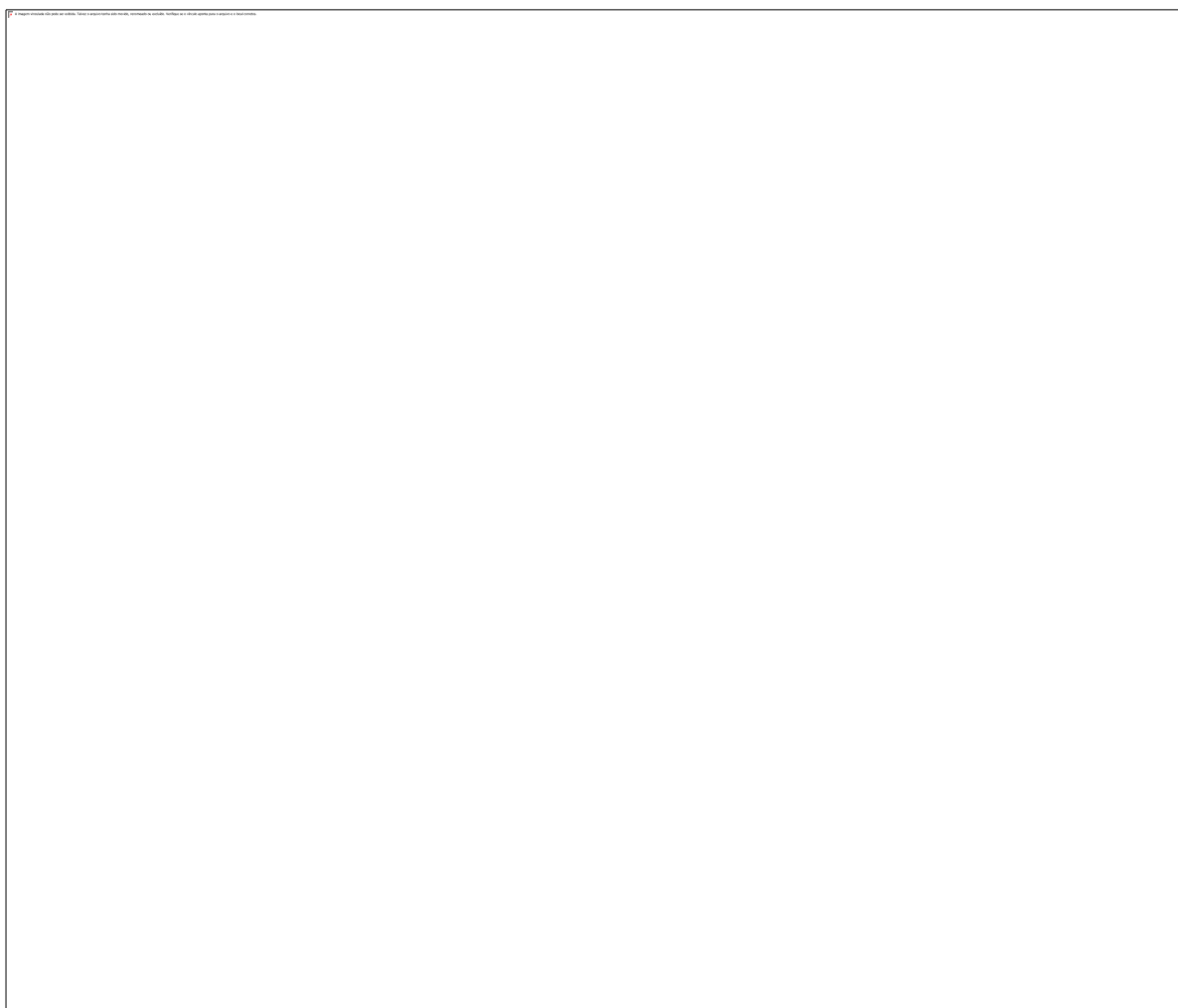


Figura 2: Percentual de degradação de HPAs ao longo de dez dias por bactérias em solução (A) e imobilizadas (B).

CÓDIGO: ET0313

AUTOR: MARIA DE FATIMA ALVES FERREIRA

ORIENTADOR: CARINA MAIA LINS COSTA

TÍTULO: Avaliação de recalques de solo reforçado com geossintéticos em modelos numéricos de ensaios de minipier

Resumo

O ensaio de minipier tem sido utilizado para avaliar o desempenho de solo reforçado com geossintético empregado como fundação de pontes. Apesar das vantagens, esse ensaio envolve a construção de modelos físicos de grande dimensão com alto custo e tempo de execução. Neste trabalho, modelos numéricos foram desenvolvidos como uma alternativa para avaliar recalques em ensaios de minipier. Diferentes parâmetros geométricos do modelo e propriedades do geossintético foram considerados. Os resultados mostraram que os recalques superficiais máximos obtidos nos modelos com diferentes larguras foram praticamente equivalentes, entretanto comportamentos distintos foram observados em relação a recalques diferenciais. A redução do espaçamento vertical dos reforços foi o fator mais determinante para limitar os recalques, principalmente, para os recalques diferenciais próximos à face. Além disso, constatou-se que pares distintos de rigidez (J) e espaçamento vertical (S_v) com a mesma razão J/S_v não produzem necessariamente deformações idênticas. A configuração com alta rigidez e menor espaçamento proporcionou o melhor controle de recalques. A modelagem numérica calibrada mostrou-se uma ferramenta ágil e econômica para refinar projetos de estruturas de solo reforçado em encontros de pontes.

Palavras-chave: Geossintéticos, Espaçamento vertical; Minipier; Simulação numérica.

TITLE: Settlement Assessment of Geosynthetic-Reinforced Soil in Numerical Models of Minipier Tests

Abstract

The minipier test has been employed to assess the performance of geosynthetic-reinforced soil used as bridge foundations. Despite its advantages, the minipier test is costly and time-consuming, as the experimental procedure requires the construction of large-scale physical models. In this study, numerical models were developed as an alternative method for evaluating settlements in minipier tests. Geometric parameters of the model and geosynthetic properties were examined. The results indicated that, although maximum

surface settlements for minipier models of varying widths were nearly identical, distinct behaviors were observed with respect to differential settlements. Parametric analysis revealed that reducing the vertical spacing between reinforced layers is the most decisive factor in limiting settlements and, more critically, in mitigating differential settlements near the facing. Furthermore, distinct pairs of stiffness (J) and vertical spacing (S_v) yielding the same J/S_v ratio did not necessarily produce identical deformations. The combination of higher reinforcement stiffness and smaller spacing offered the greatest control of differential settlements. Finally, the calibrated numerical modeling proves to be a rapid and more economical tool for refining the design of geosynthetic-reinforced soil structures used at bridge abutments.

Keywords: Geosynthetics; Vertical spacing; Minipier; Numerical simulation.

Introdução

As estruturas de solo reforçado com geossintéticos (SRG) têm se consolidado como soluções eficazes e econômicas para o suporte de encontros de pontes e outras aplicações de infraestrutura sujeitas a cargas significativas (Abu-Hejleh et al., 2002; Skinner e Rowe, 2005; Talebi et al., 2017; Shen et al., 2019). Essas estruturas combinam camadas de solo compactado com reforços geossintéticos e elementos de contenção na face, proporcionando elevada capacidade de suporte, controle de deformações e facilidade construtiva. Diante da crescente adoção dessa técnica, torna-se essencial compreender com precisão o comportamento carga deformação do sistema composto solo-geossintético, especialmente em aplicações críticas como fundações de pontes.

Com esse propósito, a Administração Federal de Rodovias dos Estados Unidos (FHWA) desenvolveu um ensaio de desempenho de solo reforçado com geossintéticos, conhecido como ensaio de minipier. Esse procedimento experimental de grande escala consiste na construção de um corpo de prova com camadas de solo granular com geossintéticos intercalados, seguido da aplicação de carregamento axial controlado (Nicks et al., 2013). Ao longo do ensaio, monitoram-se as deformações verticais e laterais da estrutura de solo reforçado. Os resultados servem de base para calibração de métodos analíticos e verificação de critérios de desempenho em projeto, com destaque para a avaliação de deformações admissíveis e da contribuição efetiva dos reforços. Entre as principais vantagens desse ensaio destacam-se sua representatividade, a possibilidade de estudar a influência de diversos parâmetros geotécnicos e estruturais, e a geração de dados em escala compatível com aplicações de campo. No entanto, o método apresenta limitações, especialmente em termos de custo, tempo de execução e dependência das condições específicas de geometria e materiais, o que restringe sua aplicação em larga escala ou sua extrapolação direta para diferentes contextos.

Nesse cenário, a modelagem numérica por meio do Método dos Elementos Finitos (MEF) pode representar uma alternativa eficiente para simular o ensaio de minipier, ampliando o escopo da análise e reduzindo a necessidade de campanhas experimentais exaustivas. Modelos computacionais bem calibrados a partir de resultados experimentais permitem explorar diversas configurações de rigidez dos reforços, espaçamento entre camadas, propriedades do solo de aterro e condições de contorno. A integração entre ensaios físicos e modelagem numérica contribui significativamente para o avanço do projeto baseado em desempenho de muros portantes com solo reforçado com geossintéticos.

Neste contexto, o presente artigo propõe uma análise numérica de modelos de ensaios de minipier como uma alternativa para investigar os recalques de estruturas de solo reforçado com geossintéticos, considerando diferentes rigidezes e espaçamentos dos reforços.

Metodologia

A Figura 1 apresenta a configuração geométrica do modelo de minipier analisado neste estudo. A estrutura é constituída por uma camada de solo de fundação com espessura de 0,07 m, sobre a qual são dispostas camadas de solo de aterro, totalizando uma altura $H=1,20\text{m}$. As faces laterais são compostas por blocos de concreto e valores distintos para a largura (L) e espaçamento vertical (S_v) foram adotados para os modelos. O carregamento máximo vertical (σ_v) aplicado no topo do modelo foi igual a 200kPa. Os espaçamentos adotados entre reforços foram selecionados a fim incorporar pequenos valores de S_v , tipicamente empregados em estruturas para fundações de pontes.

A Tabela 1 apresenta as principais características dos modelos estudados. A fim de avaliar o efeito da largura (L) nos resultados, dois valores de largura foram considerados. Para os modelos E1 a E4, adotou-se uma largura igual a 0,72m. Esse valor corresponde a uma relação entre altura e largura (H/L) dentro da faixa tipicamente adotada em ensaios de minipier. Esses modelos serão designados por minipier padrão. Para os modelos E5 a E8, identificados por “minipier modificado”, adotou-se uma largura significativamente maior.

As simulações numéricas foram realizadas pelo Método dos Elementos Finitos (MEF), adotando-se um modelo numérico baseado no trabalho de Vieira (2021), previamente validado a partir de ensaios físicos realizados por Costa (2019). Os elementos de reforço foram modelados como materiais elásticos lineares, homogêneos e isotrópicos, utilizando-se elementos do tipo Geogrid, específicos para representar geossintéticos tracionados. Os valores de rigidez considerados para os reforços podem ser encontrados na Tabela 1. A face foi modelada com blocos com dimensões de 0,20m x 0,20 m, considerando os parâmetros indicados na Tabela 2.

Para representar o comportamento mecânico do maciço de solo, foi empregado o modelo constitutivo Hardening Soil, de natureza hiperbólica e elastoplástica, apropriado para simular a resposta não linear de solos compactados sob diferentes níveis de tensão. Os principais parâmetros para o solo de aterro utilizados nas simulações são mostrados na Tabela 3.

As simulações consideraram a execução incremental da estrutura, com a compactação sucessiva das camadas de solo reforçado, conforme as recomendações metodológicas de Nascimento, Ehrlich e Mirmoradi (2020). Após a finalização da estrutura, foi aplicada uma tensão vertical (σ_v) crescente até o limite de 200 kPa no topo do modelo, valor correspondente à carga de serviço máxima recomendada para estruturas de SRG utilizadas como fundações de pontes, conforme indicado por Berg, Christopher e Samtani (2009).

Resultados e Discussões

A Tabela 4 apresenta o máximo valor de recalque superficial ($\delta v_{\text{máx}}$) obtido para cada modelo numérico, para uma tensão vertical de 200 kPa. Observa-se que o recalque máximo variou de 0,9% a 1,3% da altura do modelo, aproximadamente. Comparando-se os modelos com largura padrão com os modelos com maior largura, para mesmos valores de J e Sv (E1 e E5, E2 e E6, E3 e E7, E4 e E8), observa-se que os valores de recalque máximo obtidos para os modelos com menor largura (minipier padrão) apresentaram resultados praticamente idênticos àqueles verificados nos ensaios com maior largura, mesmo com diferença na relação H/L entre modelos. Esse resultado é favorável à utilização de ensaios com minipier para avaliação de recalques máximos, já que o significativo aumento de largura praticamente não influenciou o comportamento mecânico avaliado. Em razão desse resultado, as análises subsequentes de recalque máximo serão baseadas exclusivamente nos resultados dos modelos de ensaios de minipier. Ressalta-se que os valores de recalque máximo ocorreram próximo à face para todos os casos estudados.

3.1 Análise do recalque máximo

Para avaliar o efeito da rigidez do reforço (J) nos recalques, foi calculado o fator de melhoria (F_J), que quantifica a influência da rigidez na redução dos deslocamentos verticais. Esse fator foi obtido comparando-se modelos com o mesmo espaçamento vertical (S_v), mas com diferentes valores de rigidez (J). Valores mais elevados de F_J indicam que o aumento da rigidez do reforço teve um efeito mais significativo na redução dos recalques. Essa análise permite quantificar o impacto da rigidez no desempenho da estrutura, destacando sua importância no controle dos deslocamentos verticais, especialmente quando combinada com um espaçamento vertical adequado.

$$F_J = \delta v_1 / \delta v_2 \quad (1)$$

δv_1 = Recalque para o modelo com menor rigidez

δv_2 = Recalque para o modelo com maior rigidez

Para analisar o efeito do espaçamento vertical (S_v) no recalque máximo, calculou-se o fator de melhoria associado a esse parâmetro. Nesse caso, considerando-se pares de modelos com a mesma rigidez do reforço, mas com diferentes valores de espaçamento vertical. O valor do fator de melhoria (F_{S_v}) foi obtido por meio da Equação (1), substituindo-se δv_1 , δv_2 pelos valores de recalque para $S_v=0,4\text{m}$ e $S_v=0,2\text{ m}$, respectivamente. Nesse contexto, maiores valores de F_{S_v} indicam uma influência mais significativa do espaçamento vertical na redução dos recalques.

A Tabela 5 apresenta os fatores de melhoria F_J e F_{S_v} calculados para os diferentes modelos analisados, conforme as condições descritas anteriormente, para os valores de recalque superficial máximo mostrados na Tabela 4. Observa-se na Tabela 5 que quando a rigidez do modelo foi duplicada (modelos E2 e E4), o fator de melhoria foi igual a 1,2. Quando o espaçamento foi reduzido à metade (E1 e E4), obteve-se um fator de melhoria correspondente a 1,5. Isso indica que, nessas condições, o aumento da rigidez do reforço resultou em uma melhoria de 20% na redução dos recalques, enquanto a redução do espaçamento vertical na mesma proporção proporcionou uma melhoria de 50%, evidenciando uma maior contribuição do espaçamento vertical para o controle dos recalques.

Para avaliar a magnitude dos fatores de melhoria encontrados no presente trabalho, os resultados foram comparados com dados reportados por Nicks et al. (2013), referência mais relevante sobre ensaios de minipier na literatura técnica internacional. Esses autores conduziram uma série de ensaios, adotando reforços com espaçamento de 0,19 m e 0,38 m. O reforço empregado foi um geotêxtil tecido e diferentes ensaios foram realizados

variando-se o espaçamento vertical das camadas e a rigidez do reforço. A partir dos dados reportados por Nicks et al. (2013), foi possível calcular os fatores de melhoria para uma tensão vertical aplicada igual a 200 kPa, obtendo-se um fator de melhoria em função do aumento da rigidez (FJ) igual a 1,3 enquanto FJ foi igual a 1,2, no presente estudo. Em relação ao efeito de diminuição de espaçamento, o valor de FSV foi igual a 1,4 no trabalho de Nicks et al. (2013), sendo igual a 1,5 no presente trabalho. A semelhança de valores indica que os resultados obtidos nas simulações numéricas foram coerentes com valores calculados a partir de dados experimentais de ensaios de minipier, corroborando a representatividade dos resultados das simulações numéricas.

A equação (1) foi igualmente utilizada para investigar o efeito combinado da rigidez e do espaçamento dos reforços. Para isso, foram comparados pares de modelos que apresentavam a mesma razão J/Sv, substituindo-se δv_1 , δv_2 pelos valores de recalque para Sv=0,4 m e Sv=0,2 m, respectivamente. A Tabela 6 reúne os valores obtidos para o fator de melhoria FJ/Sv.

Os resultados indicam que, embora alguns modelos compartilhem a mesma razão J/Sv, os recalques máximos observados foram distintos. Esse comportamento é evidenciado pelos valores de FJ/Sv superiores a 1, sugerindo que a equivalência entre diferentes combinações de J e Sv, frequentemente adotada em projetos com solo reforçado, pode não garantir o mesmo desempenho em termos de deformação vertical. Além disso, observa-se que o aumento da razão J/Sv, como no caso dos modelos E3 e E4, resultou em uma maior redução dos recalques, embora não muito significativa, em comparação com os modelos E1 e E2. Isso indica que o valor do fator de melhoria depende do valor de J/Sv como sugerem os dados obtidos por Vieira (2021).

3.2 Análise do perfil de recalque superficial

Com relação ao perfil de recalque superficial, os resultados indicaram uma diferença entre os modelos de minipier padrão e os modelos de minipier modificado. Os modelos de minipier padrão apresentaram recalques superficiais praticamente constantes em relação à distância até o faceamento, coerente com a pequena largura do modelo, enquanto os modelos com maior largura mostraram perfis de recalque distintos, discutidos a seguir.

A Figura 2(a) apresenta os perfis de recalque vertical (δv) obtidos para os modelos modificados com espaçamento entre reforços igual a 0,40 m, em função da distância horizontal (X) até a face. Esses parâmetros são apresentados nas figuras normalizados pela altura (H) e largura do modelo (L), respectivamente. A Figura 2(b) reproduz resultados equivalentes para Sv = 0,20 m. Em ambos os casos, os recalques máximos foram obtidos próximo à face ($X/L < 0,2$). Observa-se ainda que o aumento da rigidez à tração do geossintético (J) desloca progressivamente as curvas para valores menores de recalque, confirmando a ação confinante adicional proporcionada por reforços mais rígidos. A influência de J na redução do recalque ocorreu até uma distância X/L entre 0,3 e 0,35. Além disso, os perfis mostram menores variações de recalque em função da distância à face, para reforços com menor espaçamento vertical. Esse comportamento indica uma distribuição mais uniforme de tensões e menor gradiente de recalques diferenciais para o solo reforçado com menor espaçamento, requisito crucial para desempenho de encontros de pontes. Ressalta-se que o menor valor de espaçamento vertical foi capaz de praticamente eliminar os recalques diferenciais no maciço apenas quando combinado a um valor de rigidez de 1000kN/m (Figura 2b).

A Figura 3 apresenta a variação dos recalques verticais normalizados ($\delta v/H$) ao longo da largura para dois modelos com a mesma rigidez de reforço ($J = 1000 \text{ kN/m}$), mas com

diferentes espaçamentos verticais. Nesse caso, a redução de recalque, proporcionada pelo menor valor de espaçamento entre reforços, atingiu uma maior distância em relação à face do que a observada na Figura 2(a). Destaca-se ainda a significativa redução de recalques diferenciais para $S_v=0,20$ m, sugerindo maior eficiência na distribuição de tensões.

A Figura 4 apresenta a variação dos fatores de melhoria (FS_v , FJ) ao longo da largura do aterro (X/L). Os resultados mostram que o fator FS_v , associado ao espaçamento vertical do reforço, apresenta os valores mais elevados em toda a extensão analisada, indicando sua maior influência na redução dos recalques em comparação com a rigidez do reforço (FJ). Porém, esse comportamento é particularmente pronunciado na região próxima à face ($X/L \leq 0,2$), possivelmente por uma maior capacidade para restringir os movimentos dos blocos da face. Os valores de FJ e FJ/S_v diminuem em direção ao centro do aterro, sendo o efeito da diminuição do espaçamento ou do aumento da rigidez bem similar e insignificante no centro do aterro (FJ e FJ/S_v aproximadamente igual a 1).

A Figura 5 apresenta a variação dos recalques verticais normalizados ($\delta v/H$) ao longo da largura para dois pares de modelos com diferentes relações J/S_v . A Figura 5(a) exhibe os resultados para os modelos que possuem uma relação $J/S_v = 2500$ kN/m/m. Já a Figura 5(b) ilustra os recalques para os modelos nos quais a relação J/S_v é de 5000 kN/m/m.

A partir da análise da Figura 5(a) e 5(b), é possível observar aspectos relevantes do comportamento dos recalques em sistemas de solos reforçados. Na Figura 5(a), que ilustra os resultados para uma relação $J/S_v = 2500$ kN/m/m, nota-se que, apesar da identidade na relação entre a rigidez do reforço e o espaçamento vertical, as curvas de recalque normalizado ($\delta v/H$) ao longo da largura do modelo (X/L) exibem distinções. De forma análoga, a Figura 5(b), para uma relação $J/S_v = 5000$ kN/m/m, corrobora essa observação. Esse resultado indica novamente que uma mesma relação de J/S_v não implica mesmos valores de recalques.

A inclinação das curvas mostradas nas Figuras 5(a) ou 5(b) para um mesmo intervalo de X/L , permite avaliar ainda a magnitude dos recalques diferenciais. Quanto maior a inclinação, mais intensos são os recalques diferenciais. Nesse sentido, houve diferenças entre o comportamento mostrado nas Figuras 5(a) e (b). Percebe-se que, para os modelos com maior valor de J/S_v (Figura 5b), houve um maior impacto na redução dos recalques diferenciais mostrados no modelo com menor valor de espaçamento (E8), principalmente para valores de X/L iguais ou inferiores a 0,2 m. Já as curvas mostradas na Figura 5(a) revelam menores diferenças entre recalque diferenciais até 0,2 m, em relação aos dados da Figura 5(b), e praticamente não mostram diferenças entre os recalques diferenciais para $X/L > 0,2$ m (inclinação das curvas aproximadamente constante). Esse comportamento evidencia a complexidade na interação entre a rigidez do reforço e o espaçamento vertical na distribuição dos deslocamentos, ressaltando a influência de outros fatores intrínsecos aos modelos, como as propriedades individuais da rigidez do reforço (J) e do espaçamento vertical (S_v), que podem afetar a transferência de tensões de maneiras distintas, mesmo quando a razão J/S_v é mantida constante. Embora não considerado no presente estudo, fatores como tipo de solo e face também devem influenciar essas interações.

A análise conjunta de todos os perfis de recalque indica que os recalques diferenciais sofrem grande influência do espaçamento vertical e da rigidez do reforço. Analisando isoladamente, reforços mais rígidos tendem a reduzir os recalques diferenciais, assim como menores espaçamentos produziram o mesmo efeito. A adoção de pequeno espaçamento entre reforços, como tipicamente recomendado em projetos de estruturas de SRG para fundação de ponte, é coerente. Porém, a capacidade de redução de recalques diferenciais associada a pequenos valores de espaçamento depende também do valor de

rigidez do reforço. Assim, é preciso realizar sempre uma análise conjunta desses dois parâmetros, considerando também o valor de J/S_v em questão. Nesse sentido, modelos numéricos de ensaios de minipier com maior largura representam uma ferramenta importante para a seleção de geossintéticos em projetos de estruturas de SRG. A modelagem numérica permite a seleção da combinação de rigidez e espaçamento mais eficiente, considerando também a redução de recalques diferenciais, em menor tempo e com menor custo em relação à execução de ensaios de pier.

Conclusão

Os resultados deste estudo demonstram que o espaçamento vertical entre reforços (S_v) exerce influência predominante na redução dos recalques verticais em estruturas de solo reforçado com geossintéticos, superando os efeitos isolados da rigidez do reforço (J). O fator de melhoria FS_v apresentou os maiores valores em toda a extensão analisada, especialmente nas regiões próximas ao faceamento, evidenciando que a redução do espaçamento é mais eficaz no controle de deformações. A adoção de uma mesma razão J/S_v não implica mesmos valores de recalques, diferente da hipótese implícita em alguns métodos de projeto de estruturas de SRG. O aumento da razão J/S_v resultou em uma maior redução dos recalques máximos, embora não muito significativa para as condições dos modelos estudados. Contudo, a combinação adequada entre S_v e J foi essencial para minimizar recalques diferenciais, com destaque para configurações de alta rigidez e baixo espaçamento. A modelagem numérica apresentou-se como ferramenta potencialmente eficiente para otimizar estudos sobre estruturas de SRG com espaçamento vertical típico para fundações de pontes, reduzindo a necessidade de ensaios físicos dispendiosos. Esses resultados reforçam a importância de critérios integrados para seleção de parâmetros em projetos desse tipo de estrutura, priorizando S_v sem negligenciar a sinergia com J . Ressalta-se que os resultados foram obtidos para um aterro reforçado com solo não coesivo com altura fixa e carregamento uniforme distribuído em toda a superfície do aterro. Pesquisas adicionais que considerem diferentes alturas e tipos de solo são ainda necessárias.

Referências

- ABU-HEJLEH, N.; ZORNBERG, J. G.; WANG, T.; WATCHARAMONTHEIN, J. **Monitored displacements of unique geosynthetic-reinforced soil bridge abutments.** Geosynthetics International, v. 9, n. 1, p. 71-95, 2002.
- BERG, Ryan R.; CHRISTOPHER, Barry R.; SAMTANI, Naresh C. **Design of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes.** Volume I. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009.
- COSTA, C. L. M. **Relatório interno do CNPq: bolsa de pós-doutorado.** Texas, 2019.
- NASCIMENTO, G.; EHRLICH, M.; MIRMORADI, S. H. **Numerical-simulation of compaction-induced stress for the analysis of RS walls under surcharge loading.** Geotextiles and Geomembranes, v. 48, n. 4, p. 532-538, 2020.

NICKS, J. E.; ADAMS, M. T.; OOI, P. S. K.; STABILE, T. **Geosynthetic reinforced soil performance testing – Axial load deformation relationships**. 2013.

SHEN, P.; HAN, J.; ZORNBERG, J. G.; MORSY, A. M.; LESHCHINSKY, D.; TANYU, B. F.; XU, C. **Two and three-dimensional numerical analyses of geosynthetic-reinforced soil (GRS) piers**. *Geotextiles and Geomembranes*, v. 47, n. 3, p. 352-368, 2019.

SKINNER, Graeme D.; ROWE, R. Kerry. **Design and behaviour of a geosynthetic reinforced retaining wall and bridge abutment on a yielding foundation**. *Geotextiles and Geomembranes*, v. 23, n. 3, p. 234-260, 2005.

TALEBI, M.; MEEHAN, C. L.; CACCIOLA, D. V.; BECKER, M. L. **Design and construction of a geosynthetic reinforced soil integrated bridge system**. In: GEO CONGRESS 2014: GEO-CHARACTERIZATION AND MODELING FOR SUSTAINABILITY, 2014, Atlanta, GA. Proceedings [...]. Reston: ASCE, 2014.

VIEIRA, B. **Investigação numérica de estruturas portantes de solo reforçado com geossintéticos com espaçamento vertical reduzido**. 2021. 95 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

Anexos

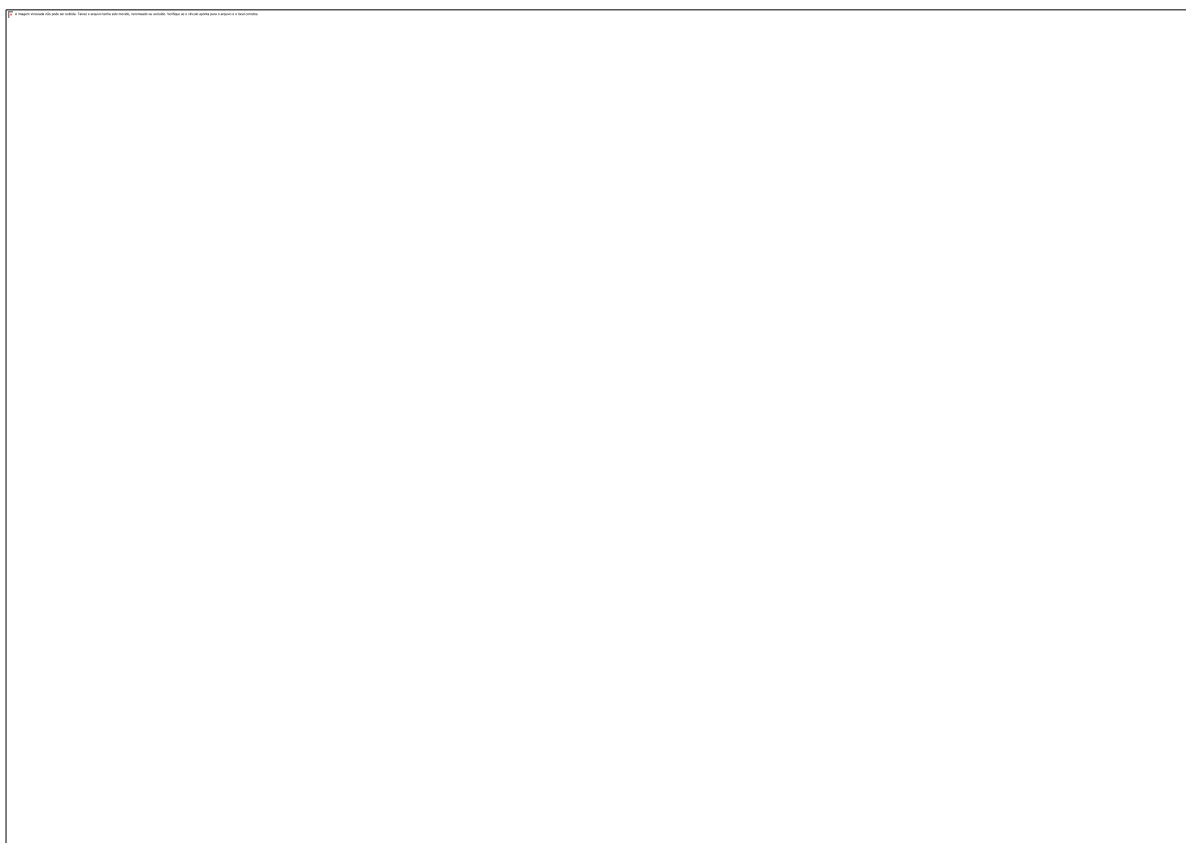


Figura 1 - Representação esquemática da geometria do modelo de minipier.

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for a table listing the general characteristics of the models.

Tabela 1 - Características gerais dos modelos

Table 2: Principais parâmetros dos blocos da face

Tabela 2 – Principais parâmetros dos blocos da face

Table 3: Principais parâmetros adotados para o solo

Tabela 3 – Principais parâmetros adotados para o solo

Table 4: Recalques superficiais máximos

Tabela 4 – Recalques superficiais máximos

Table 5: Factor of improvement as a function of rigidity (FJ) and spacing (FSv) for maximum settlements.

Tabela 5 - Fator de melhoria em função da rigidez (FJ) e do espaçamento (FSv) para os recalques máximos

Table 6: Factor of improvement as a function of the J/SV ratio.

Tabela 6 - Fator de melhoria em função da relação J/SV

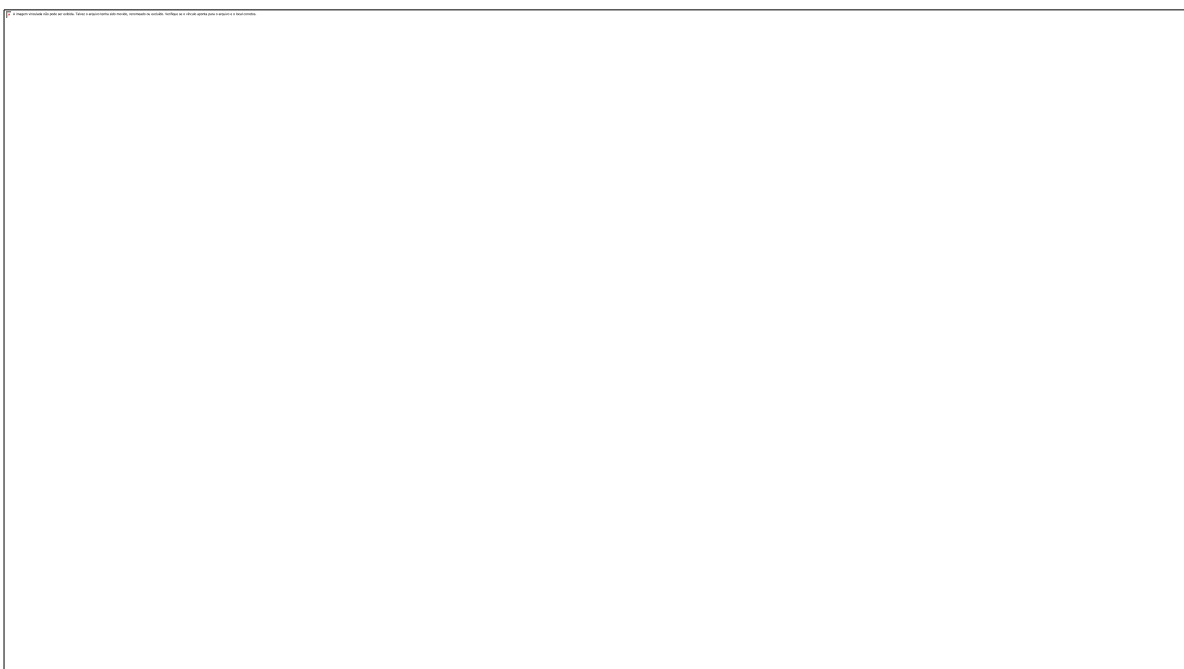


Figura 2 – Perfil de recalque para diferentes valores de rigidez do reforço (a) $S_v=0,4$ m

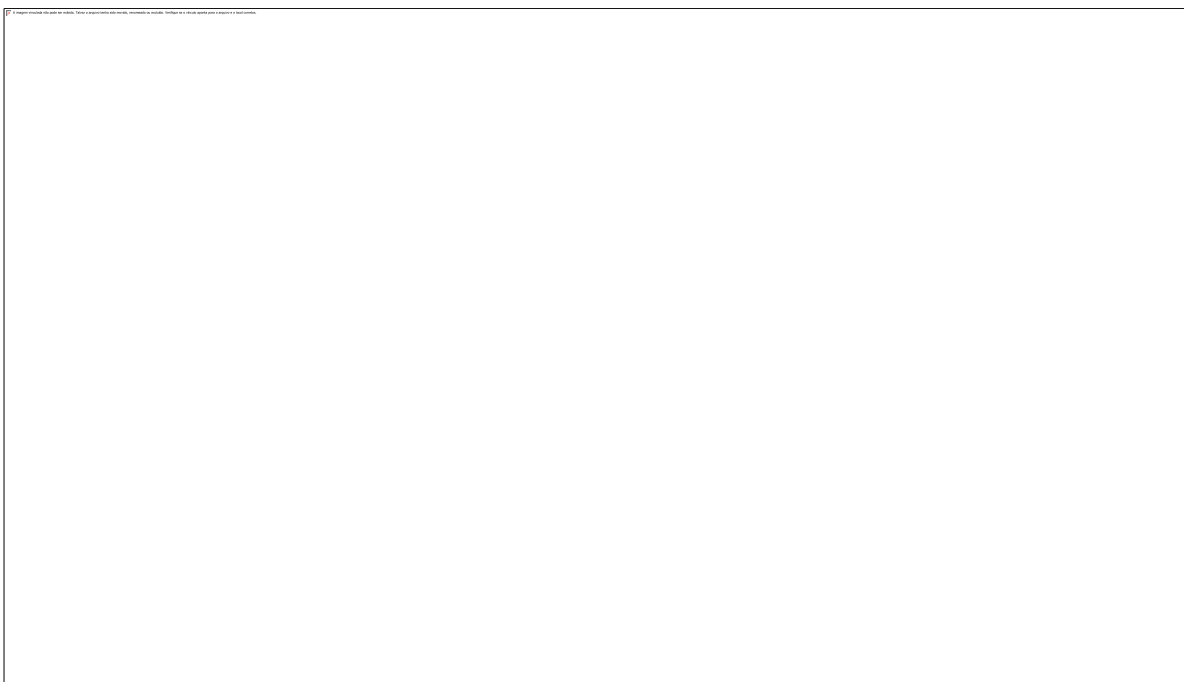


Figura 2 – Perfil de recalque para diferentes valores de rigidez do reforço (b) $S_v=0,2$ m

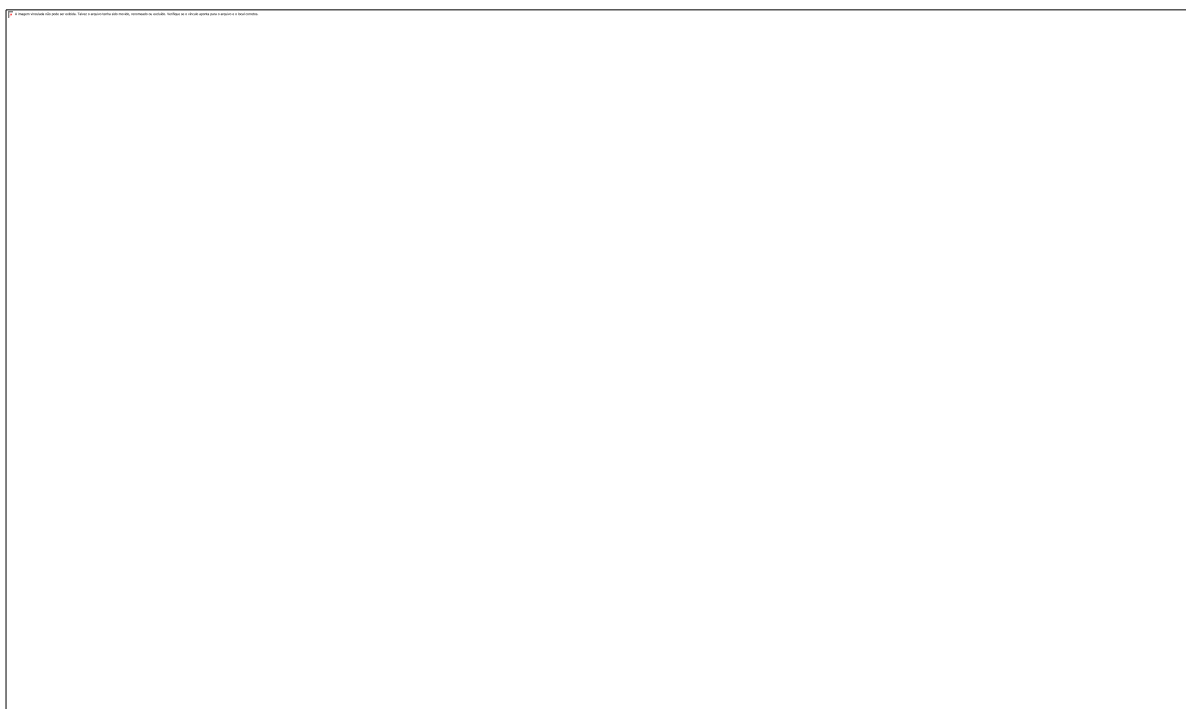


Figura 3 – Perfil de recalque para diferentes valores de espaçamento.

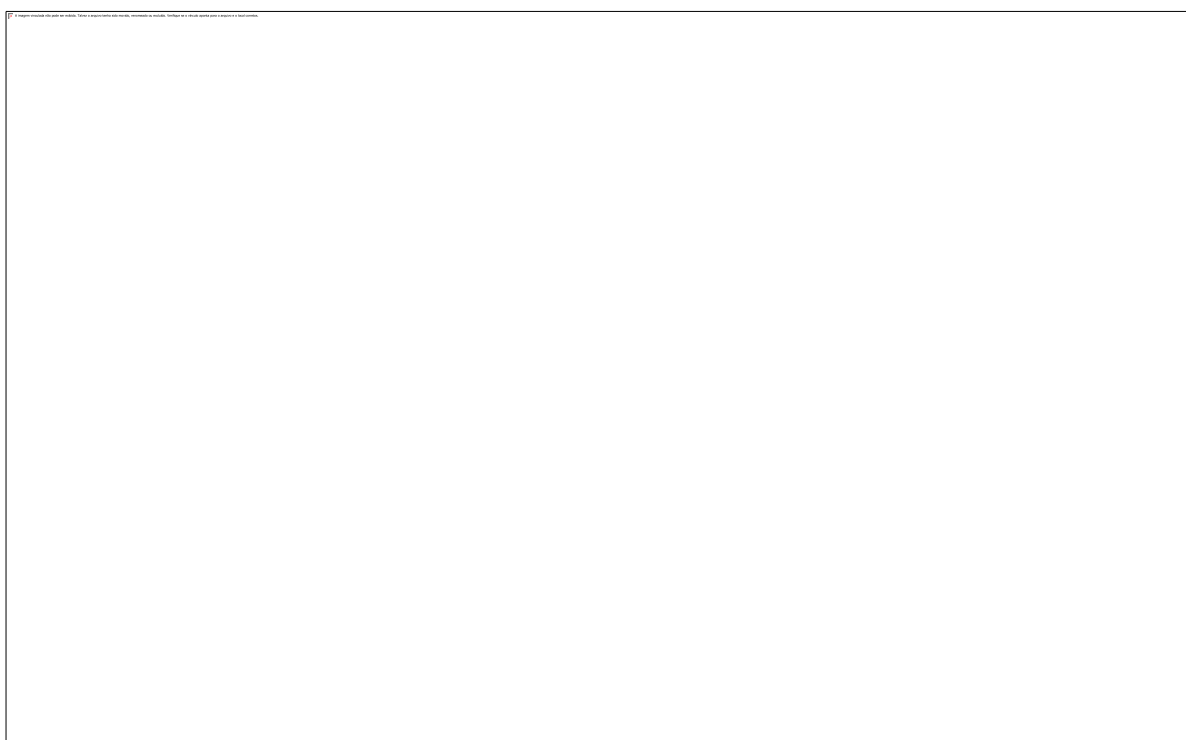


Figura 4 – Fator de melhoria em função da distância à face.

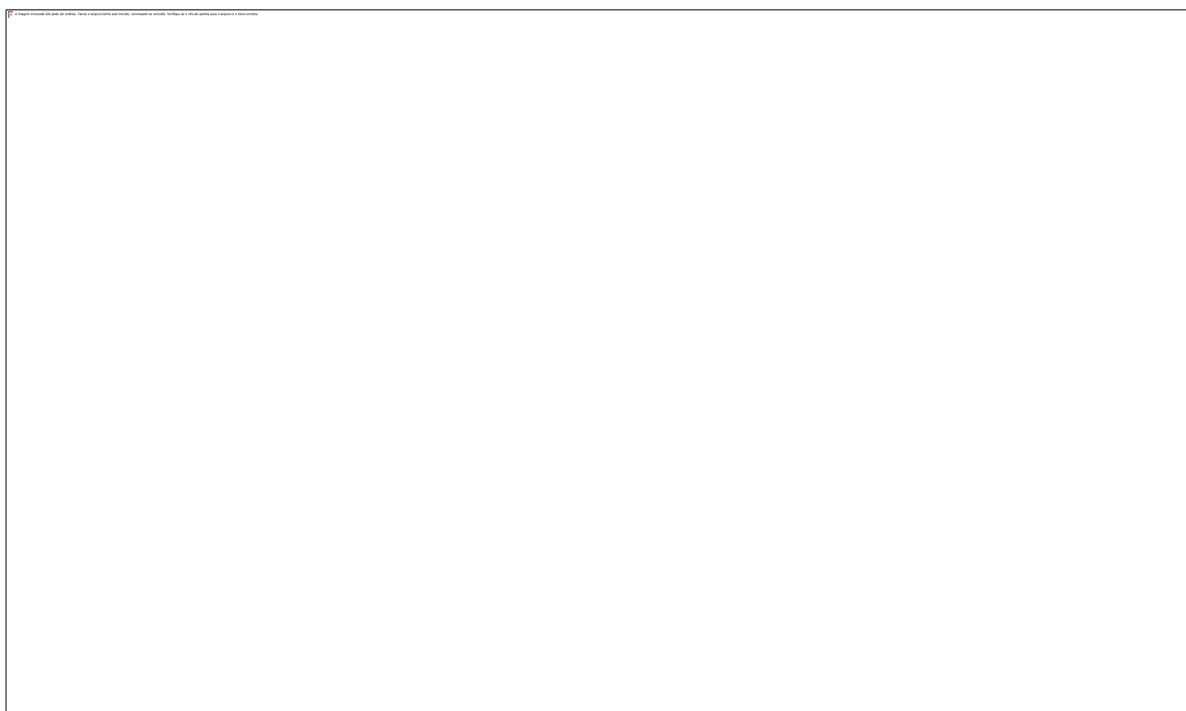


Figura 5 – Deslocamentos verticais para modelos com mesmo valor de J/Sv (a) J/Sv = 2500 kN/m/m

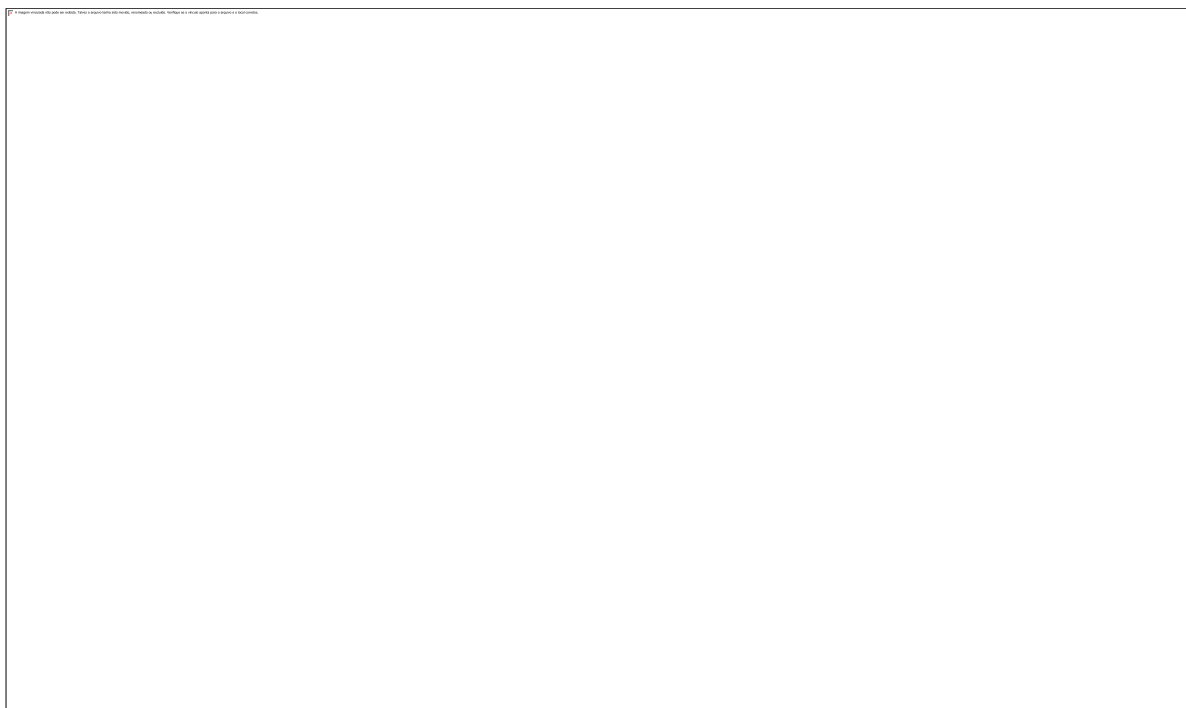


Figura 5 – Deslocamentos verticais para modelos com mesmo valor de J/Sv (b) 5000 kN/m/m

CÓDIGO: ET0326

AUTOR: SIRIA CABRAL CHAVES FARIAS DE FREITAS

ORIENTADOR: SAMAHERNI MORAIS DIAS

TÍTULO: Cubs: Modelo de engenharia cubesat - simulação em hardware do On Board Computer (Versão 2.0a)

Resumo

O padrão CubeSat tem viabilizado o desenvolvimento de missões espaciais de baixo custo por universidades e centros de pesquisa. Neste contexto, o projeto CUBS, uma parceria entre UFRN, INPE e IFRN, visa desenvolver sistemas embarcados para o Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA). Este trabalho apresenta os resultados do primeiro ano de pesquisa, focados no desenvolvimento inicial do firmware para o Computador de Bordo (OBC) do nanossatélite do projeto. A metodologia adotada foi a de pesquisa aplicada, envolvendo uma revisão teórica sobre a arquitetura de nanossatélites e a capacitação na plataforma de hardware STM32, seguida pelo desenvolvimento modular de software. O principal resultado foi a criação de um repositório público no GitHub, contendo drivers e provas de conceito validados em bancada e acompanhados por documentação explicativa. Conclui-se que o trabalho mitiga a escassez de documentação acessível para a plataforma, estabelecendo uma base de código fundamental que acelera as futuras etapas do projeto e serve como uma ferramenta didática para a formação de novos pesquisadores.

Palavras-chave: Computador de Bordo, CubeSat, OBC, STM32, Sistemas Embarcados, SINDA

TITLE: Cubs: Cubesat Engineering Model - On Board Computer Hardware Simulation (Version 2.0a)

Abstract

The CubeSat standard has enabled the development of low-cost space missions by universities and research centers. In this context, the CUBS project, a partnership between UFRN, INPE, and IFRN, aims to develop embedded systems for the Integrated Environmental Data System (SINDA). This work presents the results of the first year of research, focused on the initial firmware development for the On-Board Computer (OBC) of the project's nanosatellite. The methodology adopted was applied research, involving a theoretical review of nanosatellite architecture and training on the STM32 hardware platform, followed by modular software development. The main result was

the creation of a public GitHub repository containing drivers and proofs-of-concept, which were validated on a test bench and accompanied by explanatory documentation. It is concluded that the work mitigates the scarcity of accessible documentation for the platform, establishing a fundamental codebase that accelerates future project stages and serves as a didactic tool for the training of new researchers.

Keywords: Onboard Computer, CubeSat, OBC, STM32, Embedded Systems, SINDA

Introdução

O Projeto CUBS, uma colaboração entre a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), possui o duplo objetivo de formar recursos humanos especializados e desenvolver sistemas embarcados de baixo custo para o Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA). O escopo do projeto abrange tanto o desenvolvimento de um nanossatélite quanto de plataformas para a coleta de dados ambientais. O satélite em questão é da classe CubeSat, padrão 1U, que se enquadra na categoria de nanossatélite por possuir formato cúbico de 10 cm de aresta e massa de até 1,33 kg. O desenvolvimento de um computador de bordo robusto e acessível é um passo crítico para viabilizar missões de baixo custo como o CUBS, contribuindo para a continuidade de sistemas estratégicos como o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) e para a capacitação no setor espacial nacional.

A arquitetura do nanossatélite é concebida como um sistema complexo, composto por um conjunto de subsistemas dedicados, como o de controle de atitude (ADCS), o de gerenciamento de energia (EPS) e o de telecomunicações (TT&C). A orquestração e o gerenciamento de todas essas funções são de responsabilidade de um sistema central: o computador de bordo (OBC— On-Board Computer), que atua como o cérebro da missão, garantindo a integração e a operação correta de todo o conjunto.

Este trabalho concentra-se especificamente no desenvolvimento do firmware do OBC para o modelo de engenharia do CubeSat. Para esta finalidade, foi selecionada a placa de desenvolvimento Nucleo-F446RE, baseada em microcontrolador de arquitetura ARM. Embora reconhecida por sua robustez, a escassez de material de estudo para aplicações aeroespaciais motivou a principal contribuição deste projeto: a publicação e documentação, na plataforma GitHub, de códigos para componentes de software essenciais para o computador de bordo.

Metodologia

A metodologia deste projeto é caracterizada como pesquisa aplicada, focada em solucionar problemas práticos por meio da implementação de tecnologia. Para atingir os objetivos propostos, foi adotado um fluxo de trabalho estruturado, composto por etapas sequenciais de revisão teórica, desenvolvimento de software, validação e documentação.

A etapa inicial consistiu em uma aprofundada revisão teórica para estabelecer uma sólida base de conhecimento. Foram analisados trabalhos acadêmicos sobre a arquitetura, os subsistemas e os desafios no desenvolvimento de nanossatélites, com

especial atenção ao padrão CubeSat. O estudo também abrangeu artigos sobre técnicas de simulação em hardware, essenciais para os testes futuros do modelo de engenharia. Esta fase foi concluída com a capacitação técnica na plataforma de hardware selecionada, o microcontrolador STM32 de arquitetura ARM, por meio de um curso online dedicado.

A segunda fase, de caráter prático, concentrou-se no desenvolvimento incremental de software. Guiada pela escassez de documentação de acesso livre e em língua portuguesa para a plataforma STM32, adotou-se uma abordagem modular. Cada componente de software, seja um driver de baixo nível para um sensor ou uma prova de conceito para um periférico, foi desenvolvido de forma independente. Essa estratégia assegura que cada módulo seja testável de maneira isolada, o que facilita sua futura integração no sistema operacional do computador de bordo (OBC).

Paralelamente ao desenvolvimento, foi implementado um processo de validação contínua e documentação. Cada módulo de software concluído foi submetido a testes funcionais em bancada para verificar seu comportamento e garantir o atendimento aos requisitos. A contribuição central deste trabalho foi consolidada com a publicação do código-fonte em um repositório público no GitHub. Para facilitar a compreensão e o reuso do material por outros pesquisadores e futuros integrantes do projeto CUBS, cada módulo foi acompanhado por uma documentação detalhada em seu respectivo arquivo README.md explicativo, resultando na criação de blocos construtivos iniciais, testados e acessíveis, para o OBC do nanossatélite.

Resultados e Discussões

O principal resultado tangível deste primeiro ano de pesquisa é a criação de um repositório de código-fonte na plataforma GitHub, que serve como a base fundamental para o desenvolvimento do computador de bordo (OBC) do projeto CUBS. Este repositório foi estruturado para ser uma ferramenta de desenvolvimento e capacitação, organizando em módulos independentes todo o firmware produzido. Cada módulo desenvolvido, seja um driver para um periférico específico ou uma prova de conceito para um sensor, foi validado individualmente através de testes funcionais em bancada. Esta abordagem garantiu que cada componente de firmware atendesse aos seus requisitos de forma isolada, gerando um conjunto de blocos de construção de software testados e confiáveis.

O desenvolvimento destes módulos de software representa o alcance dos objetivos iniciais propostos na metodologia, validando a capacidade da plataforma de hardware selecionada para interagir com os componentes essenciais à missão. A contribuição mais significativa deste trabalho, no entanto, reside na solução direta para a lacuna de documentação técnica acessível e em língua portuguesa para o microcontrolador STM32. O repositório, com seus códigos comentados e arquivos README.md explicativos, não é apenas um produto técnico, mas também um recurso didático que mitiga um dos desafios para o avanço do projeto. Diante disso, o repositório agora funciona como uma plataforma de treinamento, permitindo que novos integrantes da equipe possam aprender e contribuir de forma mais rápida e eficiente.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo realizar os estudos teóricos iniciais e desenvolver os primeiros módulos de software fundamentais para o computador de bordo (OBC) do nanos satélite do projeto CUBS. Como resultado, foi produzido e disponibilizado um repositório de código-fonte público, contendo um conjunto de drivers e provas de conceito para a plataforma STM32, todos validados individualmente em bancada. A contribuição mais relevante desta pesquisa foi a mitigação da escassez de documentação técnica acessível em língua portuguesa para a plataforma de hardware selecionada, transformando o repositório em uma ferramenta prática e didática. Desta forma, o trabalho cumpriu o duplo objetivo do projeto CUBS: iniciou-se concretamente o desenvolvimento do sistema embarcado e, simultaneamente, criou-se uma plataforma que serve como ferramenta de auxílio para futuros pesquisadores do projeto. Embora os módulos tenham sido criados de forma isolada, os próximos passos devem focar na integração destes componentes e na realização de testes de validação mais complexos. Conclui-se que o trabalho realizado estabeleceu uma base sólida e essencial para o avanço do projeto CUBS.

Referências

ALVES, Alex Carlos Rodrigues. Controle de bordo para nanossatélites: desenvolvimento e aplicação ao projeto CONASAT. 2019. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecatrônica)– Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecatrônica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

COUSTEAU, A. G.; ARAÚJO, A. M. N.; NETO, D. L. C. D. Desenvolvimento de um sistema de telemetria para nanossatélites utilizando a plataforma Arduino. Holos, [S. l.], v. 7, p. 1-13, 2018. DOI: 10.15628/holos.2018.6307. Disponível em: <<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/6307>>.

VIGIANO, Gabriel Moreira. Curso de STM32. Hotmart, 2025. Curso online. Disponível em: <<https://hotmart.com/pt-br/club/professor-gabriel-vigiano>>.

CÓDIGO: ET0356

AUTOR: ANA BEATRIZ FREITAS DE MELO

ORIENTADOR: ISABEL CRISTINA DE OLIVEIRA MAGALHAES AMORIM

TÍTULO: OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA
FORMAÇÃO EDUCACIONAL BÁSICA PARA A PROMOÇÃO DA MOBILIDADE
SUSTENTÁVEL: PERSPECTIVAS DO BRASIL E DA FRANÇA

Resumo

Na esfera da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, que estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs), divididos em 169 metas, vê-se a necessidade de fomentar os ODSs durante a formação educacional básica, visto que as escolas são locais ideais para promover comportamentos sustentáveis. Logo, busca-se identificar como a escola pode contribuir para o desenvolvimento sustentável no âmbito da mobilidade sustentável ao promover os ODS: 3, 4, 7, 11, 13 e 17. Para isso, este artigo foi fundamentado nas perspectivas do Brasil e da França, no intuito de consolidar o ambiente escolar brasileiro como espaço efetivo para o desenvolvimento sustentável, assim como é articulado na educação francesa. Desse modo, para cada ODS selecionado propõem-se ações educacionais e destaca a relação com as metas do objetivo. Além disso, ressaltam-se como essas medidas estão embasadas na legislação brasileira que rege a educação básica, ambiental e para o trânsito. Como resultado central, constata-se que a escola pode atuar como vetor para alavancar o desenvolvimento sustentável e o conjunto de ações propostas fomentam os ODSs no ambiente escolar, no qual as ações educacionais são ancoradas no ordenamento jurídico brasileiro. Diante disso, fortalece práticas mais sustentáveis por intermédio da educação em benefício da promoção da mobilidade sustentável. Além disso, propõe futuros estudos para aumentar o escopo e englobar todos os ODSs.

Palavras-chave: Agenda 2030. Ações Educacionais. Transporte Sustentável.

TITLE: SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN BASIC EDUCATION FOR THE PROMOTION OF SUSTAINABLE MOBILITY: BRAZIL AND FRANCE PERSPECTIVES

Abstract

Within the scope of the 2030 Agenda for Sustainable Development, which establishes 17 Sustainable Development Goals (SDGs) divided into 169 targets, there is a need to foster SDGs during basic education, since schools are ideal spaces to promote sustainable behaviors. Thus, this study seeks to identify how schools can contribute to sustainable development in the context of sustainable mobility by promoting SDGs 3, 4, 7, 11, 13, and 17. To this end, the article draws on perspectives from Brazil and France, aiming to consolidate Brazilian schools as effective environments for sustainable development, similar to the approach adopted in French education. Accordingly, for each selected SDG, educational actions are proposed, highlighting their relationship with the targets of the goals. In addition, it emphasizes how these measures are grounded in Brazilian legislation that governs basic, environmental, and traffic education. As a central result, it is found that schools can act as vectors to leverage sustainable development, and the proposed set of actions fosters the SDGs within the school environment, where educational practices are anchored in Brazilian legal frameworks. Therefore, it strengthens more sustainable practices through education, contributing to the promotion of sustainable mobility. Additionally, the article suggests future studies to broaden the scope and encompass all SDGs.

Keywords: 2030 Agenda. Educational Actions. Sustainable Transport.

Introdução

Sá (2021) destaca que a percepção de recursos esgotáveis e catástrofes conduziram a necessidade de um plano de educação global para o meio ambiente. Diante dessa perspectiva, a educação é parte essencial da estratégia nacional de transição ecológica para o desenvolvimento sustentável (França, 2025). Assim sendo, no âmbito global da busca pela sustentabilidade, o setor dos transportes é um dos principais poluidores atmosféricos (Ríos et al., 2019). Em virtude disso, torna-se essencial adotar práticas de transporte que minimizem os impactos ambientais. Nesse aspecto, faz-se necessário a

promoção do transporte sustentável por meio da educação ambiental e da educação para o trânsito no ensino básico.

Nesse cenário, as escolas proporcionam um ambiente de compreensão no qual devem ser enfatizados os hábitos de transportes mais sustentáveis. Como apontado pelo ex-ministro francês da educação nacional e juventude, Pap Ndiaye, é papel das escolas ensinar a agir e comprometer-se com a transição ecológica, fazendo do tema uma prioridade para que os alunos compreendam melhor os desafios da transição ecológica por meio do ensino (França, 2023b). Dessa forma, torna-se oportuno fomentar no ambiente escolar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) da ONU no âmbito da Agenda 2030, os quais compreendem a 17 ODSs divididos em 169 metas que fazem parte da Agenda de Desenvolvimento Sustentável com horizonte para o ano de 2030 (ONU, 2015).

Ademais, ressalta-se que apesar de não haver nenhum ODS específico sobre os transportes, Magalhães e Santos (2023) analisaram a influência do setor dos transportes no alcance da Agenda 2030 e evidenciaram que os 17 ODSs podem ser vinculados ao setor de transportes. Em complemento, Magalhães (2025) enfatiza a importância de promover hábitos sustentáveis de transporte desde a tenra idade e acrescenta que para atingir a eficácia das intervenções fazem-se necessárias mudanças comportamentais de hábitos, para isso destaca que a educação é fator crucial para mudar o comportamento e reduzir o uso dos veículos poluentes.

Nesse sentido, observa-se práticas escolares exitosas adotadas pela França que promovem os ODSs, como é o caso do prêmio de ação do eco-delegado que visa incentivar ações práticas lideradas por estudantes eleitos como eco-delegados, os quais têm atribuições de embaixadores responsáveis por guiar as ações na turma, com o intuito de identificar projetos que reduzam o impacto energético da escola, promovendo ações ecologicamente responsáveis em toda a comunidade educacional e no entorno da escola (França, 2024b). Assim, conforme indicado pelo Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche [Ministério da Educação Nacional, Ensino Superior e Pesquisa - França (2020)], uma das estratégias adotadas para o fortalecimento da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) consiste no conhecimento de como essas questões são abordadas por outros países. Uma vez que o desenvolvimento sustentável é um desafio global que diz respeito a

todas as sociedades, na diversidade de seus modos e níveis de desenvolvimento (França, 2021).

Desse modo, ao mapear a legislação brasileira referente à educação básica, ambiental e para o trânsito, nota-se que proporcionam respaldos para promoção a nível escolar de hábitos mais sustentáveis de transporte, visto que é previsto a obrigatoriedade da educação ambiental e da educação para o trânsito em todas as etapas da educação básica. Logo, o ambiente escolar constitui-se como um espaço propício para alavancar o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, este artigo busca identificar como a escola pode contribuir com o desenvolvimento sustentável no âmbito da mobilidade sustentável.

Metodologia

Para consolidar o ambiente escolar brasileiro como espaço efetivo para o desenvolvimento sustentável, assim como é articulado na educação francesa, este artigo está baseado nas perspectivas do Brasil e da França que remetem ao desenvolvimento sustentável, especialmente em relação à mobilidade sustentável, promovido no ambiente escolar. Dessa forma, a perspectiva do Brasil está fundamentada, sobretudo, a partir da legislação brasileira. Enquanto a perspectiva da França está ancorada em documentos oficiais publicados pelos ministérios responsáveis pela educação francesa. Nesse contexto, observou-se como a escola pode contribuir com o desenvolvimento sustentável no âmbito da mobilidade sustentável ao promover os ODSs selecionados.

Para a seleção dos ODSs a serem promovidos no ambiente escolar, buscou-se projetos bem-sucedidos que promovem os ODSs. Desse modo, identificou-se projetos franceses vencedores nacionais, voltados à promoção da mobilidade sustentável, da 4ª edição do prêmio de ação do eco-delegado, em razão desta edição ter a categoria do prêmio especial com o tema da sobriedade energética. Nesta ocasião, constatou-se dois projetos (França, 2024d): Une journée sans CO2 e Un collège éco-mobile (Um dia sem CO2 e Uma escola com mobilidade sustentável), sendo o primeiro vencedor da categoria do prêmio especial e o segundo da categoria referente ao ensino fundamental anos finais. Assim, verificou-se os ODSs que esses projetos abordaram: 3 - Saúde e bem-estar; 4 - Educação de qualidade; 7 - Energia limpa e acessível; 11 - Cidades e comunidades sustentáveis; 13 - Ação contra a mudança global do clima e 17 - Parcerias e meios de implementação.

Dessa maneira, para cada um dos seis ODSs selecionados propõem-se abordagens que fomentam o objetivo durante a formação educacional básica. Assim, os resultados deste artigo estão estruturados a partir de uma elucidação inicial referente aos ODSs em questão. Em seguida, tem-se a ação educacional proposta, isto é, como os ODSs podem ser promovidos no ambiente formal de ensino. Na sequência, menciona-se a relação da ação educacional com as metas da Agenda 2030 referente ao ODS que está sendo abordado. Após a constituição deste agrupamento, integra-se o embasamento legal através dos documentos normativos que regem a educação básica, ambiental e para o trânsito no Brasil. A Figura 1 exemplifica essa estrutura, na qual o processo se repete a cada ODS abordado.

Resultados e Discussões

Sendo a escola um espaço efetivo para a transição ecológica faz-se necessário que esteja comprometida com os ODSs da Agenda 2030 para capacitar os alunos a desempenharem um papel no desenvolvimento sustentável (França, 2019). Em virtude de que as instituições de ensino podem contribuir concretamente na formação ao longo da vida para permitir mudanças de comportamentos e estilos de vida mais adaptados aos desafios do desenvolvimento sustentável (França, 2021). Dessa forma, menciona-se a seguir como os ODSs selecionados promovem o desenvolvimento sustentável no âmbito da mobilidade sustentável ao serem promovidos através de ações durante a formação educacional básica. Além disso, destaca-se como essas medidas estão alicerçadas na legislação brasileira que rege o ensino, a educação ambiental e para o trânsito. Por último, ressalta-se dois projetos práticos que implementam iniciativas na escola, as quais englobam o conjunto parcial de ODSs trabalhados neste artigo.

Inicialmente, o ODS 3 objetiva garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos (ONU, 2015). Assim, a promoção de hábitos mais sustentáveis de transporte, como a mobilidade ativa, está alinhada especificamente à meta 3.4 que visa promover a saúde mental e o bem-estar, além da meta 3.9 que busca a redução da poluição atmosférica (ONU, 2015). Outro ponto importante é implementar questões referentes à segurança viária. Dessa forma, alinhado à meta 3.6 que trata sobre a redução de mortes e lesões decorrentes de acidentes de trânsito (ONU, 2015). Pois, apesar de autores como Freire (2020), ressaltar que o Brasil possui uma legislação abrangente, estruturada e com fundamentos

sólidos, nota-se uma incompatibilidade quando se observa que os acidentes de trânsito são a principal causa de morte acidental de crianças e adolescentes com idades de 5 a 14 anos no país (Criança Segura, 2020).

Dessa forma, verifica-se que a inserção de questões relativas à promoção de hábitos mais sustentáveis é assegurada em diversas normativas brasileiras que visam ensinar valores socioambientais para promover a educação para a mudança de hábitos. Dentre esses documentos legais, destaca-se no âmbito das legislações ambientais a Política Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 1981), Política Nacional de Educação Ambiental - PNEA (Brasil, 1999) e o Programa Nacional de Educação Ambiental - ProNEA (Brasil, 2023b). Enquanto no viés das legislações educacionais aponta-se as Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica - DCN (Brasil, 2013), o Plano Nacional de Educação - PNE (Brasil, 2014a) e a Base Nacional Comum Curricular - BNCC (Brasil, 2018a). Por fim, referente especificamente a hábitos mais sustentáveis de transporte têm-se a Política Nacional de Trânsito (Brasil, 2014b) e a Política Nacional de Transportes (Brasil, 2018c). Assim, no âmbito dessas normativas, é necessário capacitar as pessoas a viverem vidas saudáveis e promover o bem-estar em todas as idades (França, 2023a). Ademais, além desses documentos acrescenta-se a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Brasil, 2012a), Política Nacional de Trânsito (Brasil, 2014b) e o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021-2030 (Brasil, 2023a) que incentivam práticas mais sustentáveis como o uso dos meios não motorizados e dos transportes coletivos.

Paralelamente, às questões de segurança viária são respaldadas sobretudo nas normativas do Código de Trânsito Brasileiro - CTB (Brasil, 1997), Política Nacional de Trânsito (Brasil, 2014b), Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito - Pnatrans (Brasil, 2018b), Resolução nº 1.004, de 21 de dezembro de 2023 (Brasil, 2023c) referente ao Pnatrans assim como o anexo desta resolução, o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021-2030 (Brasil, 2023a). Nesse contexto, Braga (2022) ressalta que as medidas de segurança viária devem focar não apenas na segurança dos usuários, mas também pensar em estratégias para veículos seguros e ambientes seguros, por meio de ações integradas e coordenadas.

Em seguida, o ODS 4 está relacionado a assegurar a educação inclusiva, equitativa e de qualidade, além de promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos (ONU, 2015). Nesse sentido, a escola pode educar

para o desenvolvimento sustentável através da educação ambiental e da educação para o trânsito, o que reflete principalmente a meta 4.7 que visa garantir que todos os alunos adquiram os conhecimentos e habilidades necessários para promover o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015). Outro aspecto crucial para o desempenho dessas medidas consiste na qualificação de educadores sobre os desafios da transição ecológica, o que contribui com a meta 4.c de aumentar o número de professores qualificados (ONU, 2015). O objetivo de capacitar todos os responsáveis pela educação é uma alavanca poderosa que se alinha com o objetivo de melhor ensinar os desafios da transição ecológica (França, 2023b).

Por conseguinte, a promoção da educação ambiental de forma integrada aos projetos pedagógicos é assegurada pelas normativas da Política Nacional de Educação Ambiental (Brasil, 1999), Resolução CNE/CP nº 2/2012 (Brasil, 2012b), DCN (Brasil, 2013), BNCC (Brasil, 2018a) e pelo ProNEA (Brasil, 2023b). Adicionalmente, a promoção da educação para o trânsito de forma integrada aos projetos pedagógicos é assegurada pelas normativas da Política Nacional de Trânsito (Brasil, 2014b), BNCC (Brasil, 2018a), Resolução nº 1.004, de 21 de dezembro de 2023 (Brasil, 2023c), o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021-2030 (Brasil, 2023a). Além disso, a formação continuada dos professores está previsto na PNEA (Brasil, 1999), na Política Nacional de Trânsito (Brasil, 2014b), no BNCC (Brasil, 2018a), no Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021-2030 (Brasil, 2023a) e no ProNEA (Brasil, 2023b).

Já o ODS 7 visa assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos (ONU, 2015). Assim, intrinsecamente relacionado à transição energética. Dessa forma, incentivar práticas mais sustentáveis de deslocamentos como o uso dos transportes coletivos e de veículos elétricos, como também desestimular os modos de transportes individuais motorizados, se caracterizam como importantes medidas a serem frisadas durante o percurso escolar. Logo, esses conjuntos de ações estão interligados às metas 7.2 e 7.3 que visam o aumento de energias renováveis na matriz energética e a melhoria da eficiência energética (ONU, 2015).

Inclusive, principalmente a PNMU (Brasil, 2012a), a Política Nacional de Trânsito (Brasil, 2014b) e o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021-2030 (Brasil, 2023a) fundamentam essas ações de incentivo a

práticas mais sustentáveis, como o uso dos transportes coletivos e dos meios não motorizados. Além disso, enfatiza-se que a questão de desestimular os modos menos sustentáveis é mencionada na Política Nacional de Trânsito (Brasil, 2014b). Essa abordagem no ambiente educacional proporciona aos futuros cidadãos os meios para fazer escolhas, integrando as questões complexas do desenvolvimento sustentável em seu raciocínio e permitindo que tomem decisões e ajam de maneira responsável (França, 2021).

Já o ODS 11 visa tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis (ONU, 2015). Nesse aspecto, a mobilidade sustentável é um dos pilares na busca por cidades e comunidades sustentáveis. De acordo com Santos e Ribeiro (2015), o setor do transporte é uma preocupação predominantemente urbana a nível mundial. De forma mais específica, os problemas recentes são essencialmente uma extensão da forte dependência do automóvel como a principal alternativa de transporte para fornecer mobilidade aos cidadãos urbanos (Silva; Costa; Macedo, 2008). Assim, para promover cidades resilientes e sustentáveis faz-se necessário promover a mobilidade sustentável. Desse modo, está interligado às metas 11.1 e 11.2 que visam garantir o acesso a serviços básicos, assim como proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis e sustentáveis, melhorando a segurança viária. Além disso, contribui na redução do impacto ambiental per capita das cidades, meta 11.6 (ONU, 2015).

Dessa forma, medidas voltadas à promoção da mobilidade sustentável são embasadas pelas políticas públicas supracitadas (Brasil, 1981; 1999; 2012a; 2013; 2014a; 2014b; 2018a; 2018c; 2023a; 2023b), sobretudo a PNMU (Brasil, 2012a), Política Nacional de Trânsito (Brasil, 2014b) e o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021-2030 (Brasil, 2023a). Ademais, ressalta-se que os transportes coletivos são considerados pela Constituição Federal como um serviço básico (Brasil, 1988).

O ODS 13 busca tomar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos (ONU, 2015). Logo, diante dos desafios ambientais contemporâneos é imprescindível a conscientização e formação dos cidadãos, dando-lhes a compreensão necessária e os meios para agir (França, 2021). Assim, sendo favorável abordar conteúdos que englobam a temática da educação ambiental e da educação para o trânsito. Essa medida se alinha com a

meta 13.3 de melhorar a educação, a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação da mudança do clima (ONU, 2015).

Sendo assim, ações de conscientização e formação seguem a mesma linha de respaldos na legislação brasileira citados anteriormente (Brasil, 1981; 1999; 2012a; 2013; 2014a; 2014b; 2018a; 2018c; 2023a; 2023b). Acrescenta-se, no âmbito educacional, a Resolução CNE/CP nº 2/2012 que estabelece as diretrizes curriculares nacionais para a educação ambiental, na qual destaca que “o reconhecimento do papel transformador e emancipatório da Educação Ambiental torna-se cada vez mais visível diante do atual contexto nacional e mundial em que a preocupação com as mudanças climáticas [...] evidencia-se na prática social” (Brasil, 2012b).

Por último, o ODS 17 está relacionado a fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015). A formação educacional constitui diversas oportunidades de desenvolver a educação colaborativa, tanto através da família, com atividades conjuntas, como por meio de parcerias com organizações públicas e privadas. Fato que intensifica a meta 17.17 referente ao incentivo e a promoção de parcerias eficazes entre o setor público, privado e a sociedade civil (ONU, 2015). Assim, como mencionado pelo Ministério da Educação Nacional, Ensino Superior e Pesquisa (França, 2025) a educação para o desenvolvimento sustentável envolve inúmeras parcerias. Logo, a implementação da transição ecológica exige um compromisso coletivo (França, 2023a).

Por fim, a legislação brasileira reforça a importância da educação colaborativa e prevê implementá-la através de parcerias com diversos órgãos, sendo assegurado tanto na legislação educacional como na ambiental e para o trânsito (Brasil, 1996; 1997; 2010a; 2010b; 2012b; 2014b; 2018a). De forma específica, a Resolução CNE/CP nº 2/2012 salienta que “os sistemas de ensino devem propiciar às instituições educacionais meios para o estabelecimento de diálogo e parceria com a comunidade, visando à produção de conhecimentos sobre condições e alternativas socioambientais” (Brasil, 2012b). Adiciona-se que a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDB (Brasil, 1996) fundamenta a colaboração da família por meio de atividades para consolidar o conhecimento obtido no ambiente formal de ensino. Em suma, de forma pragmática, a Tabela 1 exhibe a síntese do agrupamento entre cada ODS, a ação educacional e a relação com as metas e o embasamento legal.

Em termos práticos, destaca-se o projeto *Une journée sans CO2* (Um dia sem CO2), desenvolvido pelos eco-delegados da escola César Frank na cidade de Amiens, França. O projeto abrangeu os ODS 4, 7, 11, 13 e 17 (França, 2024d), por meio de ações que focam de forma geral em preservar o planeta e a biodiversidade, assim como lutar contra o aquecimento global (França, 2024c). Para isso, estabeleceu-se um dia, 4 de junho de 2024, para se locomover sem usar o próprio carro, deixando-o na garagem e optando por um meio de transporte mais ecologicamente responsável, a fim de reduzir as emissões de CO2. Para informar a iniciativa ao público, lançaram uma campanha através de cartazes (França, 2024d).

Além disso, os estudantes produziram um questionário com foco nos hábitos diários de transporte dos colegas de classe, pais e professores, com o intuito de propor alternativas em colaboração com a prefeitura e coletar as experiências dos participantes da iniciativa, como o meio de transporte escolhido e as dificuldades encontradas. O resultado da pesquisa mostrou dados preocupantes, onde 74% dos pais e 72% dos professores usam veículos individuais para ir ao trabalho, e que a bicicleta é pouco usada pelos moradores locais. Contudo, também obtiveram o dado satisfatório que 82% dos alunos do César Frank vão a pé para escola (França, 2024a).

Ressalta-se ainda o projeto *Un collège éco-mobile* (Uma escola com mobilidade sustentável) implementado pelos eco-delegados da escola Jean Baptiste de la Quintinye na cidade de Noisy-le-Roi, França. O projeto contemplou os ODS 3, 11, 13 e 17, por meio de ações que objetivaram incentivar toda a comunidade escolar a utilizar transportes sustentáveis, como o transporte público ou ativo, após a constatação que mais de um quarto dos estudantes desloca-se para a escola de transporte individual motorizado. Em razão dessa realidade, inúmeras ações foram realizadas, como a criação de cartazes, propostas de melhorias para o bicicletário da escola, contribuíram para a organização do dia anual da bicicleta, no qual incluiu a presença de autoridades para apresentação de ciclovias. O projeto contou com a participação de seis parceiros externos, dentre eles a prefeitura, o órgão administrativo local, associações e parceiros privados (França, 2024d).

Em suma, evidencia-se que ambos os projetos se baseiam em observações coletadas, o que permite que seja adaptado de acordo com a realidade. Assim, agindo exatamente na alavanca necessária para a mudança de comportamentos em relação aos deslocamentos diários. Portanto, os projetos educacionais permitem que as escolas sejam locais efetivos, estabelecendo continuidade entre o ensino, as atividades e os projetos, ao vincular o conhecimento à experiência, o que torna as instituições de ensino espaços de engajamento coletivo para a transição ecológica (França, 2023b), sendo um ambiente de grande impacto em razão da quantidade de estudantes. À medida que mais pessoas deixam de usar seus veículos individuais para usar outros modos de transporte, sua emissão per capita é reduzida, o que melhora a qualidade do meio ambiente e a saúde da comunidade (Mohammed; Alshuwaikhat; Adenle, 2016).

Dessa maneira, nota-se convergência entre a percepção do Brasil e da França no que diz respeito a escola ser um ambiente propício para fomentar os ODS, uma vez que na legislação brasileira possui respaldos para essa inserção, assim como no contexto francês, os documentos publicados pelos ministérios da educação enfatizam essa premissa. No cenário brasileiro, destaca-se que promover a inclusão de temas relativos à educação ambiental (Brasil, 1981; 1988; 1999; 2012c; 2013; 2018a; 2023b) e para o trânsito (Brasil, 1997; 2012a; 2014b; 2018a; 2018b; 2023a; 2023c) em todos os níveis e etapas da educação básica são oportunidades de fomentar os ODS para a promoção da mobilidade sustentável. Salienta-se que essas temáticas devem ser abordadas de forma contínua e abrangente (Brasil, 1996; 2013; 2018a; 2023b). Como também de forma transversal e interdisciplinar (Brasil, 1996; 2010b; 2012b; 2013; 2018a; 2023a; 2023b), perspectivas compartilhadas com as normas de ensino francês (França, 2020; 2021; 2023a; 2023b; 2024b; 2025).

Conclusão

O desenvolvimento sustentável é inevitavelmente um grande desafio educacional (França, 2021). Dessa maneira, por meio deste artigo apresenta-se como a escola pode contribuir para o desenvolvimento sustentável, especialmente no âmbito da mobilidade sustentável, ao capacitar os alunos a desempenharem um papel no desenvolvimento sustentável, visto que as escolas são locais efetivos para proporcionar mudanças paradigmáticas. Além disso, ao relacionar as perspectivas do Brasil e da França fortalece a difusão de conhecimentos em favor da promoção da mobilidade sustentável.

Assim, a escola pode contribuir ao promover hábitos mais sustentáveis de transportes assim como questões referentes à segurança viária. Pode educar para o desenvolvimento sustentável através da educação ambiental e para o trânsito, fornecer qualificação para os educadores, incentivar a práticas mais sustentáveis de deslocamentos e, paralelamente, desestimular os modos de transportes individuais motorizados. Desse modo, promover a mobilidade sustentável, conscientizar e formar cidadãos através de conteúdos que englobam a educação ambiental e educação para o trânsito e desenvolver a educação colaborativa. Destaca-se que para que as ações educacionais “sejam implantadas com sucesso, é fundamental que as ações interdisciplinares sejam previstas no projeto político-pedagógico” (Brasil, 2013, p. 20). Além disso, como apontado por Magalhães (2025), para atingir a eficácia das ações fazem-se necessárias mudanças comportamentais de hábitos. Quanto às limitações, é importante salientar que este estudo não englobou todos os ODS que constam na Agenda 2030. Posto isso, sugere-se estudos futuros para aumentar o escopo e englobar os outros ODS que não foram contemplados neste artigo.

Referências

BRAGA, S. N. (2022). Caminhos escolares: análise de políticas públicas para uma mobilidade segura na infância. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília.

BRASIL. (1981). Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm>. Acesso em: 4 dez. 2024.

BRASIL. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 2 dez. 2024.

BRASIL. (1996). Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm>. Acesso em: 25 out. 2024.

BRASIL. (1997). Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm>. Acesso em: 7 jan. 2025.

BRASIL. (1999). Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm>. Acesso em: 3 dez. 2024.

BRASIL. (2010a). Resolução CONAMA nº 422, de 23 de março de 2010. Disponível em: <<https://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>>. Acesso em: 4 dez. 2024.

BRASIL. (2010b). Resolução nº 4, de 13 de julho de 2010. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rceb004_10.pdf>. Acesso em: 25 out. 2024.

BRASIL. (2012a). Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm>. Acesso em: 9 jan. 2025.

BRASIL. (2012b). Resolução nº 2, de 15 de junho de 2012. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rcp002_12.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

BRASIL. (2013). Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 15 out. 2024.

BRASIL. (2014a). Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/113005.htm>. Acesso em: 4 nov. 2024.

BRASIL. (2014b). Resolução nº 514, de 18 de dezembro de 2014. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao5142014-1.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

BRASIL. (2018a). Base Nacional Comum Curricular. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2024.

BRASIL. (2018b). Lei nº 13.614, de 11 de janeiro de 2018. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13614.htm>. Acesso em: 13 jan. 2025.

BRASIL. (2018c). Portaria nº 235, de 28 de março de 2018. Disponível em:

<<https://bibliotecadigital.economia.gov.br/bitstream/123456789/923/2/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Transporte%20%28PORTARIA%20N%C2%BA%20235%2C%20DE%2028%20DE%20MAR%C3%87O%20DE%202018%29.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2025.

BRASIL. (2023a). Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021-2030. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/Resolucao10042023_Anexo_v2.pdf>. Acesso em 13 jan. 2025.

BRASIL. (2023b). Programa Nacional de Educação Ambiental. Disponível em: <<https://salasverdes.mma.gov.br/wp-content/uploads/2023/12/Pronea-Digital-final.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2025.

BRASIL. (2023c). Resolução nº 1.004, de 21 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/Resolucao10042023.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2025.

CRIANÇA SEGURA. (2020). Relatório Institucional 2020. Disponível em: <<https://criancasegura.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Relatorio-Crianca-Segura-2020.pdf>>. Acesso em 22 ago. 2025.

FRANÇA. (2019). Une École engagée pour le développement durable et la transition écologique. Disponível em: <<https://pedagogie.ac-toulouse.fr/une-ecole-engagee-pour-le-developpement-durable-et-la-transition-ecologique>>. Acesso em 02 jul. 2025.

FRANÇA. (2020). Renforcement de l'éducation au développement durable. Disponível em: <<https://www.education.gouv.fr/bo/20/Hebdo36/MENE2025449C.htm>>. Acesso em 22 ago. 2025.

FRANÇA. (2021). Vademecum - éducation au développement durable à l'horizon 2030. Disponível em: <<https://eduscol.education.fr/document/5239/download?attachment>>. Acesso em 19 jun. 2025.

FRANÇA. (2023a). Agir pour la transition écologique dans les écoles, collèges et lycées. Disponível em: <<https://eduscol.education.fr/document/51026/download?attachment>>. Acesso em 18 jun. 2025.

FRANÇA. (2023b). L'école, premier lieu de l'engagement pour la transition écologique. Disponível em: <<https://www.education.gouv.fr/l-ecole-premier-lieu-de-l-engagement-pour-la-transition-ecologique-378551>>. Acesso em 22 ago. 2025.

FRANÇA. (2024a). César Frank Lauréat national du prix de l'action eco-deleguée 2024 mention spéciale << Sobriété énergétique >>. Disponível em: <<https://college-cesar-franck-amiens.80.ac-amiens.fr/cesar-franck-laureat-national-du-prix-de-laction-eco-deleguee-2024-mention-speciale-sobriete-energetique/>>. Acesso em 14 ago. 2025.

FRANÇA. (2024b). Les éco-délégués. Disponível em: <<https://eduscol.education.fr/1121/les-eco-delegues>>. Acesso em 21 jun. 2025.

FRANÇA. (2024c). Les éco-délégués récompensés pour leur action : << Une journée sans CO2 >>. Disponível em: <<https://college-cesar-franck-amiens.80.ac-amiens.fr/les-eco-delegues-recompenses-pour-leur-action-une-journee-sans-co2/>>. Acesso em 14 ago. 2025.

FRANÇA. (2024d). Prix de l'action éco-déléguée 2024. Disponível em: <https://edd.ac-versailles.fr/IMG/pdf/2024_palmares_prix_de_l_action_eco-deleguee.pdf>. Acesso em 02 jul. 2025.

FRANÇA. (2025). L'éducation au développement durable. Disponível em: <www.education.gouv.fr/l-education-au-developpement-durable-7136>. Acesso em 17 jun. 2025.

FREIRE, L. F. (2020). Círculos de cultura como prática pedagógica em educação para o trânsito na educação infantil. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática, IFES, Vitória.

MAGALHÃES AMORIM, I. C. de O.; MEDEIROS DOS SANTOS, E. (2023). O setor dos transportes e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030. Transportes, 31(3), e2844. <https://doi.org/10.58922/transportes.v31i3.2844>

MAGALHÃES, I. (2025). Educação básica e sustentabilidade: uma análise exploratória da formação para hábitos de transporte sustentável. Transportes, 33, e3058. <https://doi.org/10.58922/transportes.v33.e3058>

MOHAMMED, I. ALSHUWAIKHAT, H. M.; ADENLE, Y. A. (2016). An Approach to Assess the Effectiveness of Smart Growth in Achieving Sustainable Development. Sustainability, v. 8, n° 397. DOI: 10.3390/su8040397.

ONU. (2015). Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Disponível em:

<https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf>. Acesso em 05 ago. 2025.

RÍOS, R.; QUINTANA, M.; RAMÍREZ, M.; ORTIGOZA, E.; OXILIA, V.; BLANCO, G. (2019). Use of electric vehicles to achieve sustainable development goals in countries with surpluses of hydroelectricity: case of Paraguay. In 2019 IEEE CHILECON (pp. 1–6). IEEE. DOI: 10.1109/CHILECON47746.2019.8988038.

SÁ, N. M. O. de. (2021). O papel da educação para formação sobre o meio ambiente. In: SILVA, Antonio Wardison C. et al. Educação ambiental, étnico-racial e em direitos humanos por uma reconstrução social. Americana/SP: Editora Adonis, 2021. p. 61-85.

SANTOS, A. S.; RIBEIRO, S. K. (2015). The role of transport indicators to the improvement of local governance in Rio de Janeiro City: a contribution for the debate on sustainable future. Case Studies on Transport Policy, v. 3, n. 4, p. 415-420. DOI: 10.1016/j.cstp.2015.08.006.

SILVA, A. N. R. da.; COSTA, M. da S.; MACEDO, M. H. (2008). Multiple views of sustainable urban mobility: the case of Brazil. Transport Policy, v. No 2008, n. 6, p. 350-360. DOI: 10.1016/j.tranpol.2008.12.003.

Anexos

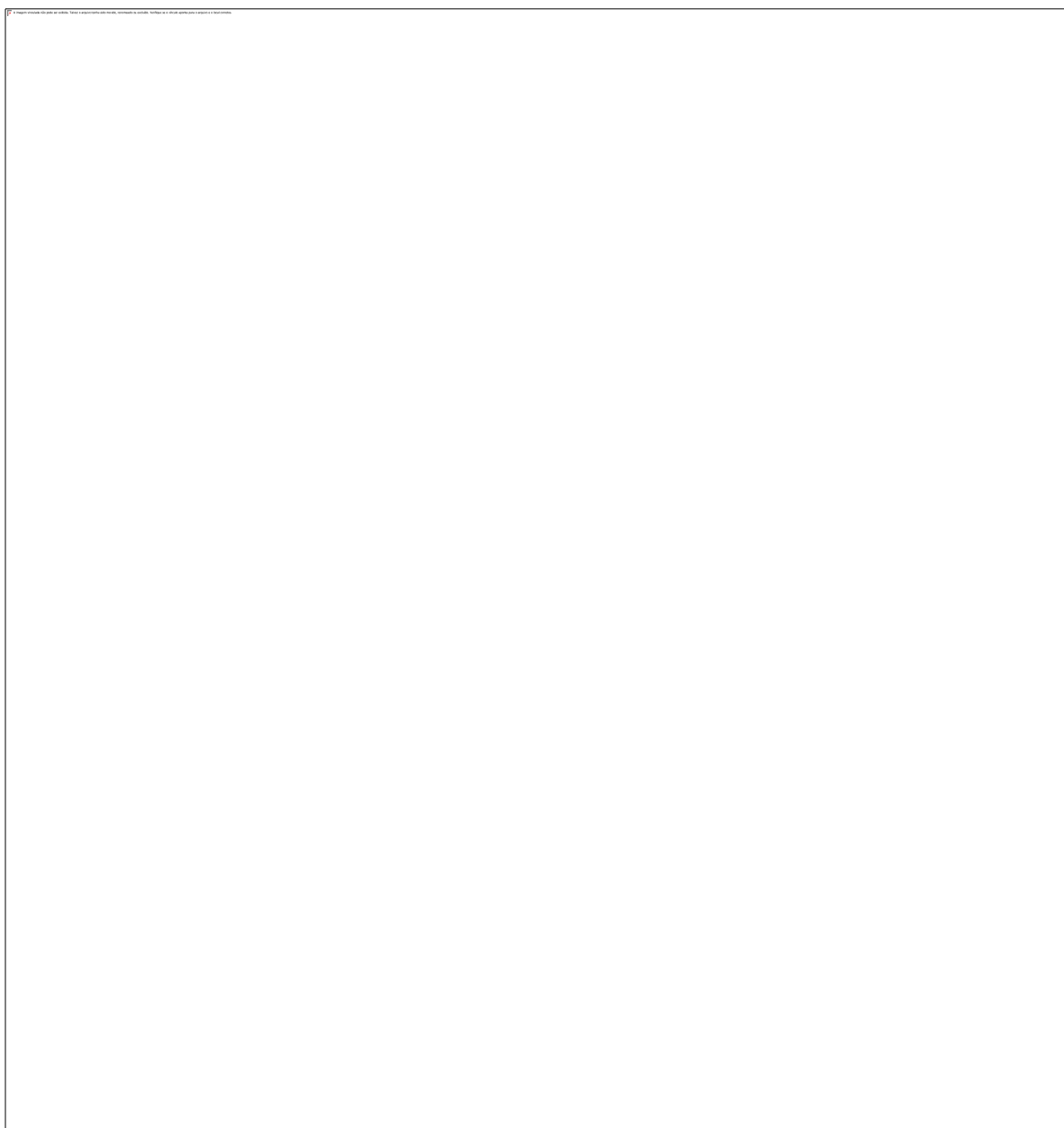


Figura 1 - Fluxograma da estrutura dos resultados.

Tabela 1 - Síntese.

CÓDIGO: ET0406

AUTOR: KAIKY HANRY ALENCAR FERNANDES

COAUTOR: ANELMA SILVA DA COSTA

ORIENTADOR: ANDRES ORTIZ SALAZAR

TÍTULO: DESENVOLVIMENTO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO PARA CONTROLE DE POSIÇÃO EM MÁQUINAS BEARINGLESS

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma Placa de Circuito Impresso (PCI) para o controle de posição de uma máquina bearingless, tecnologia que integra a geração de torque e a levitação magnética do rotor em um único conjunto eletromecânico. O projeto da PCI foi realizado no software EasyEDA, abrangendo a elaboração do esquemático, roteamento e posicionamento de componentes, seguido pela fabricação artesanal via processo de corrosão química. A placa integra sensores, circuitos de condicionamento e interface com um Processador Digital de Sinal (PDS), garantindo leitura e processamento em tempo real dos sinais de posição do rotor.

Palavras-chave: PCI, Bearingless, Desenvolvimento, Controle de Posição.

TITLE: DEVELOPMENT OF PRINTED CIRCUIT BOARDS FOR POSITION
CONTROL IN BEARINGLESS MACHINES

Abstract

This paper presents the development of a Printed Circuit Board (PCB) for position control of a bearingless machine, a technology that integrates torque generation and magnetic levitation of the rotor in a single electromechanical assembly. The PCB design was carried out using EasyEDA software, covering the creation of the schematic, routing, and component placement, followed by handmade manufacturing via a chemical etching process. The board integrates sensors, conditioning circuits, and an interface with a Digital Signal Processor (DSP), ensuring real-time reading and processing of rotor position signals.

Keywords: PCB, Bearingless, Development, Position Control.

Introdução

As máquinas de indução, também conhecidas como máquinas assíncronas, são dispositivos eletromecânicos amplamente utilizados para converter energia elétrica em energia mecânica, no modo motor, ou energia mecânica em energia elétrica, no modo gerador. Seu princípio de funcionamento baseia-se na indução eletromagnética, onde um campo magnético girante no estator induz correntes no rotor, dispensando conexões elétricas diretas. A Figura 1 ilustra a anatomia de um motor de indução, destacando seus principais componentes.

Essas máquinas podem ser classificadas de acordo com o número de fases e com o tipo de rotor. As versões monofásicas são frequentemente utilizadas em equipamentos domésticos, enquanto as trifásicas são preferidas em ambientes industriais devido à maior eficiência. Dentre os tipos de rotores, o mais comum é o de gaiola de esquilo, conhecido por sua robustez, simplicidade construtiva e baixo custo. Um comparativo entre os diferentes tipos de rotores pode ser visualizado na Figura 2.

Para que o rotor permaneça em equilíbrio durante o funcionamento da máquina, utiliza-se um conjunto de mancais. Os mancais mecânicos (rolamentos) são os mais comuns, sustentando o eixo por meio de contato físico. No entanto, essa configuração está sujeita a desgaste por atrito e exige lubrificação frequente, conforme representado na Figura 3. Como alternativa, existem os mancais magnéticos, que mantêm o rotor suspenso por meio de forças magnéticas controladas eletronicamente, eliminando o contato físico e, consequentemente, o desgaste mecânico. A Figura 4 apresenta uma representação esquemática de um mancal magnético.

Com o objetivo de reduzir o volume dos sistemas convencionais que utilizam mancais magnéticos, surgiram as chamadas máquinas bearingless. Essas máquinas foram desenvolvidas a partir da década de 1980, impulsionadas pelo avanço dos inversores de frequência e de técnicas modernas de controle. O diferencial das máquinas bearingless é a capacidade de integrar a geração de torque e a levitação do rotor em um único conjunto eletromecânico, eliminando totalmente os mancais convencionais.

O rotor dessas máquinas permanece suspenso por forças eletromagnéticas, o que elimina o atrito, mas impõe um novo desafio: o controle preciso de sua posição em tempo real. Para isso, é necessário um sistema eletrônico de controle, que leia sinais de sensores de posição e os envie a um processador digital, como um DSP (Digital Signal Processor), o qual calcula e aplica as correções necessárias nos enrolamentos do motor para manter o rotor estável.

A confiabilidade e a eficiência desse sistema de controle dependem da qualidade do condicionamento de sinais e da integração dos elementos eletrônicos. Neste contexto, as Placas de Circuito Impresso (PCIs) desempenham um papel essencial. Elas possibilitam a conexão adequada entre sensores, drivers de potência e controladores, organizando os circuitos de maneira compacta, segura e eficiente. Um exemplo de PCI é apresentado na Figura 5, onde trilhas de cobre interligam os componentes eletrônicos.

Além de viabilizarem a integração de múltiplos circuitos, as PCIs contribuem para a redução de ruídos eletromagnéticos, melhoram a dissipação térmica e possibilitam respostas mais rápidas do sistema. No caso das máquinas bearingless, seu projeto exige

atenção a aspectos como integridade de sinal, tempo de resposta, confiabilidade e estabilidade térmica.

Diante disso, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma Placa de Circuito Impresso voltada para o controle de posição em uma máquina bearingless. O objetivo é aprimorar a precisão e a eficiência do sistema, por meio de um circuito eletrônico robusto, compacto e otimizado para aplicações com requisitos dinâmicos rigorosos.

Metodologia

Para o desenvolvimento da Placa de Circuito Impresso (PCI) para o controle de posição de uma máquina bearingless, foi utilizado o software EasyEda, aplicativo simples e prático, que pode ser acessado pelo navegador, sem a necessidade de uma instalação.

Alguns conceitos são importantes para melhor entendimento do uso do EasyEda, para criar um projeto, primeiro precisamos montar o circuito que a placa vai representar, esse circuito será montado no esquemático, no qual é representado os componentes utilizados e as ligações entre eles. Na Figura 6, pode-se observar o esquemático da placa de controle de posição. Nela é possível visualizar alguns componentes, como: INAs, resistores, tripots, capacitores e borns.

Com o esquemático feito, já é possível gerar a Placa PCB. Por padrão, o software já sugere um tamanho de placa, mas isso pode ser alterado, assim no interior da placa, é realizada a disposição dos componentes, aproximando aqueles com conexões entre si. As conexões entre os componentes é realizada por meio de trilhas, linhas de cobre que conectam um componente ao outro. Uma forma de facilitar o roteamento (realizar as conexões entre os componentes) é inserir uma malha de terra (GND), assim, não é necessário conectar os GNDs do circuito por trilhas, pois já estão conectados por meio da malha de GND.

Após o posicionamento dos componentes, procede-se ao roteamento da placa, etapa em que as conexões elétricas do esquemático são convertidas em trilhas físicas sobre a camada de cobre da PCI. Essa tarefa pode ser realizada manualmente, garantindo maior controle sobre o trajeto das trilhas, ou automaticamente, com o auxílio das ferramentas do próprio EasyEDA. Durante o roteamento, é importante seguir boas práticas de layout, como evitar cruzamento de trilhas, minimizar laços de corrente e garantir espaçamentos adequados para prevenir interferências eletromagnéticas e curtos-circuitos.

Após o esquemático ser finalizado no EasyEDA, foi gerado o layout da Placa de Circuito Impresso (PCB), definindo a posição dos componentes e a trilha das conexões elétricas entre eles. Diferente de processos industriais que utilizam arquivos Gerber para produção automatizada, neste trabalho a placa foi fabricada manualmente através do processo de corrosão química.

A imagem foi impressa em papel fotográfico utilizando uma impressora a laser. Em seguida, o papel impresso foi posicionado sobre uma placa de fenolite com camada de

cobre e, com o auxílio de um ferro de passar roupa ou prensa térmica, foi realizada a transferência do toner para a placa.

Após esfriar, o papel foi removido com água morna, revelando o desenho das trilhas na superfície da placa. A etapa seguinte foi a corrosão química, utilizando uma solução de perclorato de ferro (FeCl_3), que remove o cobre não protegido pelo toner. Esse processo foi monitorado visualmente e, ao término da corrosão, a placa foi lavada para interromper a reação química. Na Figura 7, pode-se observar a placa após o processo de corrosão.

Com as trilhas reveladas, o toner restante foi removido com álcool ou acetona, deixando o cobre exposto. Posteriormente, os furos para inserção dos componentes foram feitos com furadeira de bancada.

Após a furação, iniciou-se o processo de soldagem dos componentes eletrônicos, como resistores, capacitores, bornes, e circuitos integrados. Essa etapa foi feita cuidadosamente para evitar curtos-circuitos entre trilhas próximas, garantindo uma montagem limpa e funcional.

Por fim, a placa foi conectada ao sistema de controle da máquina bearingless, permitindo a leitura e o processamento dos sinais de posição do rotor. Os testes de funcionamento serão descritos na próxima seção, demonstrando a efetividade da nova placa no controle da posição do rotor e sua integração com o DSP.

Resultados e Discussões

A Placa de Circuito Impresso (PCI) desenvolvida foi integrada ao sistema de controle da máquina bearingless e submetida a testes experimentais para validação de sua funcionalidade. Durante os ensaios, verificou-se que a placa foi capaz de realizar corretamente o condicionamento de sinais, a leitura dos sensores de posição e o envio das informações ao DSP (Digital Signal Processor), possibilitando o processamento em tempo real.

Os resultados demonstraram que o sistema manteve o rotor estável na posição de referência, mesmo em condições de operação contínua. É possível observar na Figura 7, o equilíbrio do rotor sem oscilações significativas, com rotação nominal de 1800 RPM. Esse desempenho evidencia a eficiência da integração entre os circuitos de medição, processamento e acionamento, viabilizados pela PCI.

Apesar de a placa ter sido confeccionada por um processo artesanal de corrosão, a qualidade elétrica e mecânica alcançada foi satisfatória. A montagem apresentou conexões estáveis, baixa ocorrência de ruídos e ausência de falhas de contato entre trilhas próximas. No entanto, identificou-se como limitação a menor robustez em

relação a PCIs fabricadas por processos industriais, especialmente quanto à uniformidade das trilhas e acabamento superficial.

De forma geral, os resultados confirmam a viabilidade do projeto, validando a PCI como uma solução funcional e econômica para aplicações em máquinas bearingless. Além disso, abrem caminho para melhorias futuras, como a produção em escala industrial, a fim de aumentar a confiabilidade, reduzir perdas parasitas e otimizar a dissipação térmica do sistema.

Conclusão

Com base nos resultados obtidos, os experimentos demonstraram a boa funcionalidade do sistema de controle de posição implementado na PCI prototipada. A máquina apresentou o comportamento esperado, operando de forma estável e precisa com a utilização da placa desenvolvida. Apesar de a PCI ter sido confeccionada de maneira artesanal, por meio do processo de corrosão, o sistema comportou-se conforme o previsto, mantendo a posição de referência de forma estável, como evidenciado nos resultados experimentais.

Referências

CHIBA, Akira; FUKAO, Tadashi; ICHIKAWA, Osamu; OSHIMA, Masahide; TAKEMOTO, Masatugu; DORRELL, David G. Magnetic Bearings and Bearingless Drives. Oxford: Elsevier, 2005.

FERREIRA, Jossana Maria de Souza. Modelagem de máquina de indução trifásica sem mancais com bobinado dividido. 2006. 158 f. Tese (Doutorado em Automação e Sistemas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

Anexos



Figura 1 - Anatomia de um Motor de Indução.

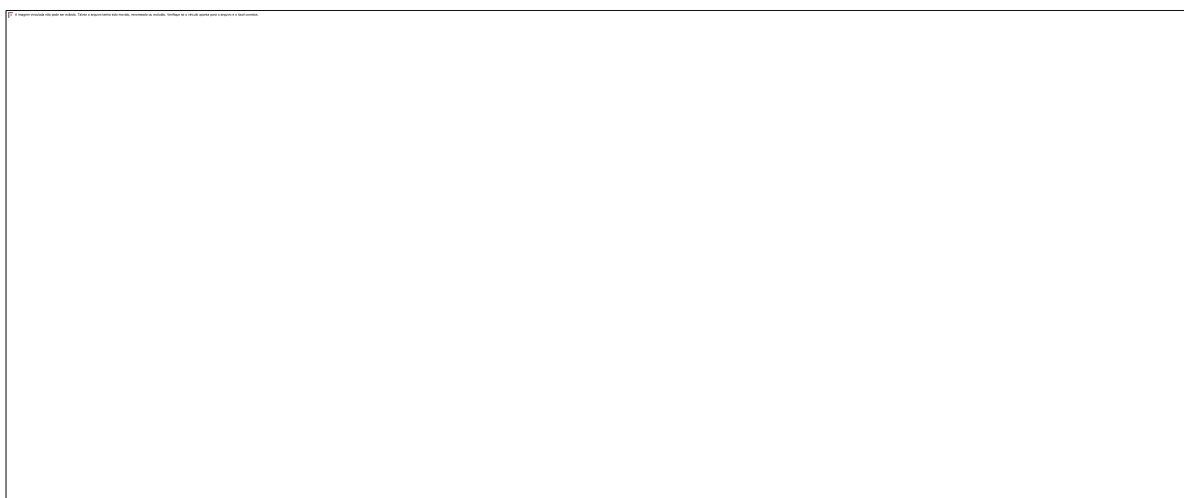


Figura 2 - Comparativo entre Rotor Bobinado e Rotor Gaiola.

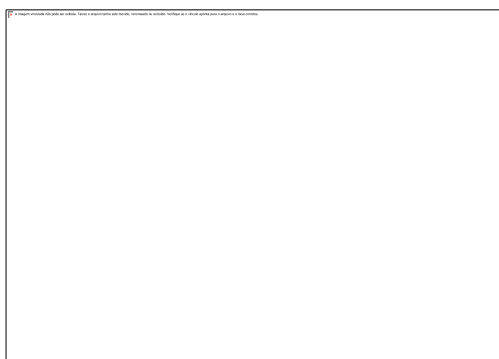


Figura 3 - Mancal mecânico.

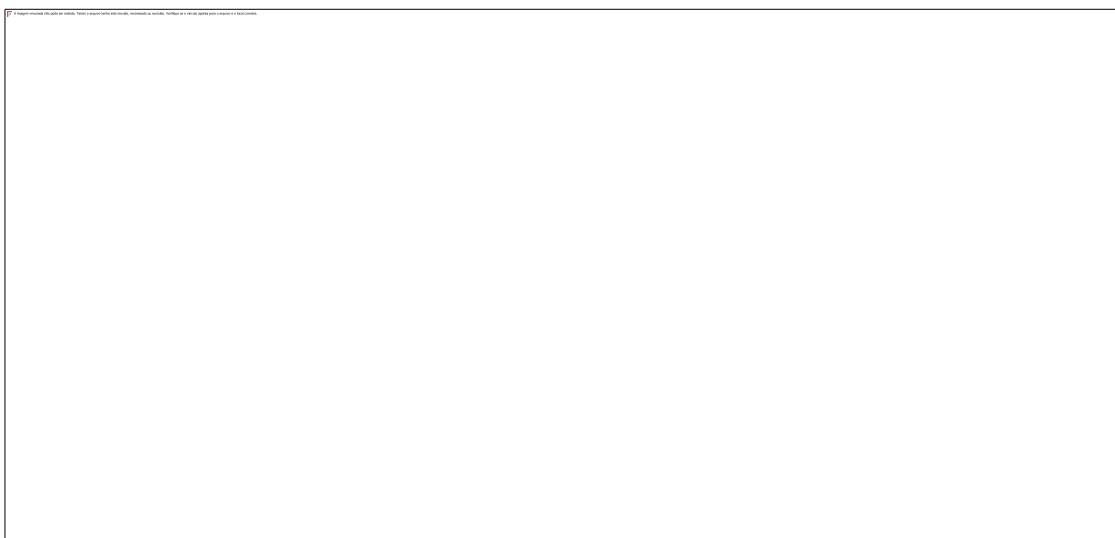


Figura 4 - Mancal Magnético.

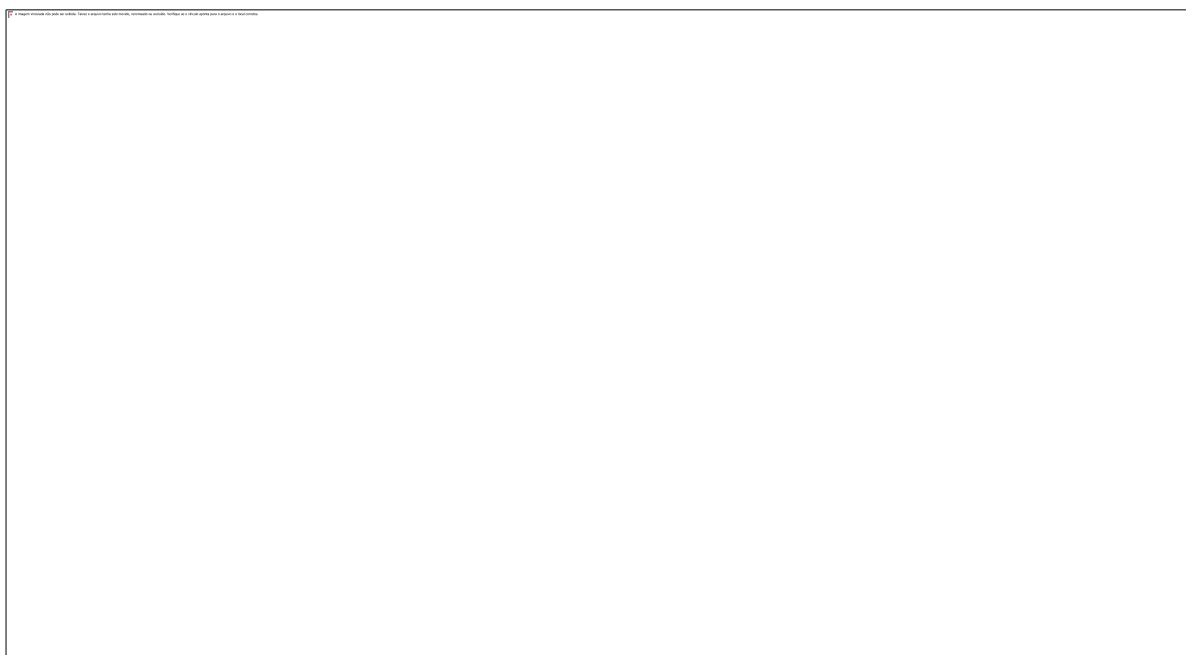


Figura 5 - Exemplo de Placa de Circuito Impresso.

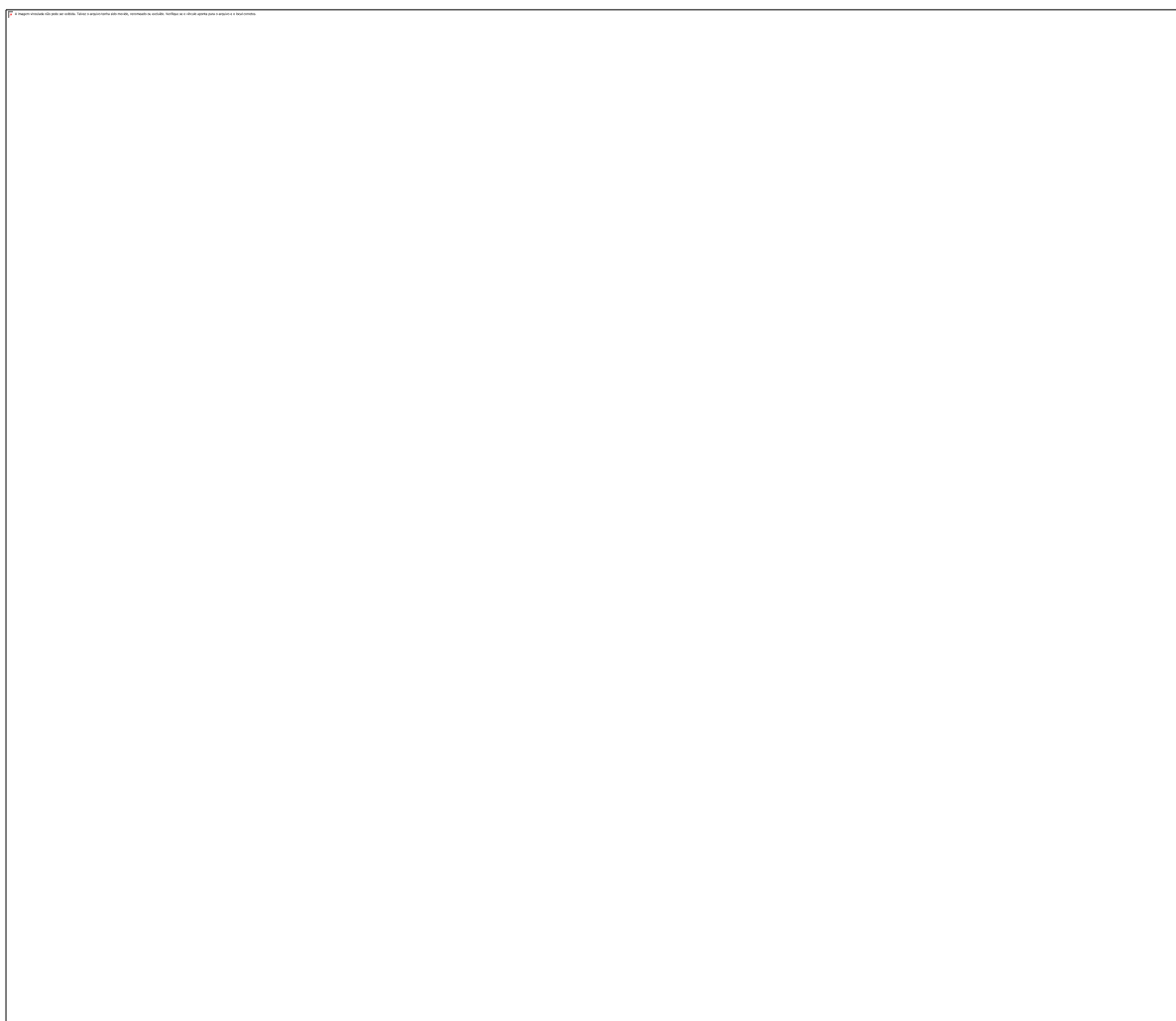


Figura 6 - Esquemático da Placa de Controle de Posição.

Este trabalho é de propriedade da UFRN. Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução, total ou parcial, sem a autorização expressa da UFRN.

Figura 7 - Parte inferior da placa após o processo de corrosão.

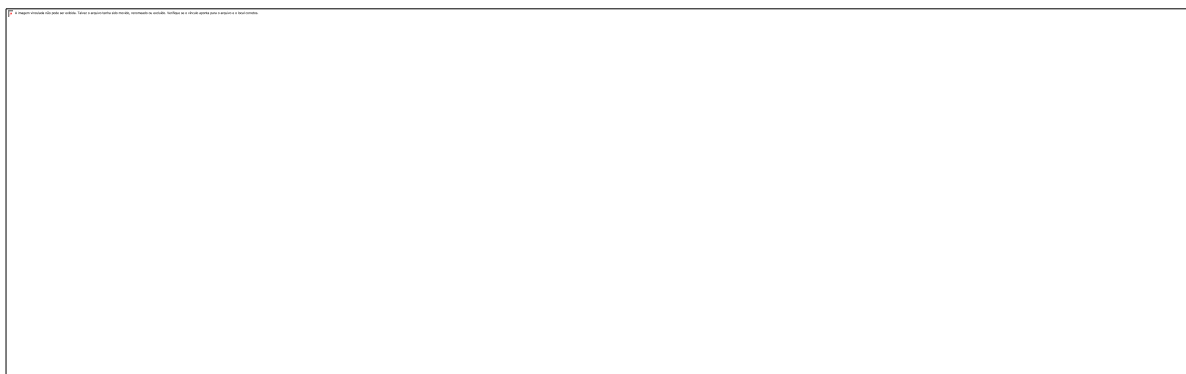


Figura 8 - Gráfico de posição do Rotor à 1800 RPM.

CÓDIGO: ET0481

AUTOR: ALBENIZE ANGELA ALVES BEZERRA

ORIENTADOR: KESIA KARINA DE OLIVEIRA SOUTO SILVA

TÍTULO: Desenvolvimento de novas membranas nanocompósitas de alta performance para a nanofiltração de água do mar com otimização via metodologia de superfície de resposta (RSM)

Resumo

A crescente escassez de água potável, agravada pelas mudanças climáticas e pelo aumento populacional, tem impulsionado a busca por tecnologias eficientes e sustentáveis de dessalinização da água do mar. Entre as alternativas, a nanofiltração (NF) apresenta vantagens em relação à osmose reversa (OR), como a operação em pressões reduzidas, a seletividade para íons divalentes e compostos orgânicos, além do menor consumo energético. No entanto, as membranas compósitas de filme fino (TFC), amplamente aplicadas em NF, ainda apresentam limitações associadas à baixa hidrofilicidade e à suscetibilidade à incrustação. Neste trabalho, foram desenvolvidas membranas nanofibrosas baseadas em óxido de polietileno (PEO), modificadas por reticulação com TEOS, cura térmica e tratamento com plasma DBD, a fim de melhorar suas propriedades físico-químicas, estruturais e superficiais. A etapa de fiação foi conduzida em condições otimizadas para assegurar a homogeneidade das fibras, enquanto os processos de modificação química e térmica tiveram como objetivo conferir maior estabilidade em meio aquoso e resistência mecânica. As membranas produzidas foram caracterizadas por diferentes técnicas: análise termogravimétrica (TG/DTG), que revelou aumento da estabilidade térmica após a reticulação, com deslocamento das temperaturas de degradação e maior resistência à decomposição; microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo (MEV-FEG), que confirmou a formação de fibras cilíndricas, contínuas

Palavras-chave: Nanofiltração; Membranas TFC; PEO; Reticulação; Plasma DBD; Caracteri

TITLE: Development of novel high-performance nanocomposite membranes for seawater nanofiltration optimized by response surface methodology (RSM)

Abstract

The increasing scarcity of drinking water, intensified by climate change and global population growth, has driven the search for efficient and sustainable seawater desalination technologies. Among the alternatives, nanofiltration (NF) offers advantages over reverse osmosis (RO), such as operation at lower pressures, selective rejection of divalent ions and organic compounds, and reduced energy demand. However, thin-film composite (TFC) membranes, widely applied in NF, still present drawbacks related to low hydrophilicity and susceptibility to fouling. In this study, nanofibrous membranes based on poly(ethylene oxide) (PEO) were developed and modified by crosslinking with TEOS, thermal curing, and dielectric barrier discharge (DBD) plasma treatment, aiming to improve their physicochemical, structural, and surface properties. The spinning stage was optimized to ensure fiber homogeneity, while the chemical and thermal modification processes sought to enhance water stability and mechanical resistance. The membranes were characterized by several techniques: thermogravimetric analysis (TG/DTG), which demonstrated improved thermal stability after crosslinking, with shifted degradation temperatures and higher resistance to decomposition; field emission scanning electron microscopy (FEG-SEM), which confirmed the formation of cylindrical, continuous, bead-free fibers, although excess TEOS caused defects and structural fragilities; X-ray diffraction (XRD), which revealed

Keywords: Nanofiltration; TFC membranes; PEO; Crosslinking; DBD plasma; Charact

Introdução

O crescimento populacional, aliado à urbanização acelerada e às mudanças climáticas, tem intensificado a pressão sobre os recursos hídricos globais. Estima-se que cerca de 3,6 bilhões de pessoas já enfrentam escassez de água pelo menos uma vez ao ano, e esse número pode alcançar 5 bilhões até 2050 (United Nations, 2018; WMO, 2023). Nesse contexto, a utilização da água do mar, que representa aproximadamente 97% da água disponível no planeta, surge como uma alternativa estratégica, desde que acompanhada por processos eficientes e sustentáveis de purificação (Shannon et al., 2008). A dessalinização se consolidou como ferramenta essencial para suprir a demanda hídrica, especialmente em regiões áridas ou de alta densidade populacional. Entre as tecnologias disponíveis, a osmose reversa (OR) domina o setor, respondendo por mais de 60% das plantas em operação mundialmente (Shannon et al., 2008; Gude, 2016). Apesar de sua eficácia, a OR apresenta elevado consumo energético e problemas recorrentes de incrustação, que aumentam custos operacionais e reduzem a vida útil das membranas (Zhou et al., 2020). Nesse cenário, a nanofiltração (NF) destaca-se por operar em pressões mais baixas, reter seletivamente íons divalentes e compostos orgânicos e, ao mesmo tempo, preservar minerais essenciais, representando uma alternativa mais sustentável (Mohammad et al., 2015; Behrooz et al., 2023). As membranas compósitas de filme fino (TFC) são as mais utilizadas em NF devido à sua estrutura multicamada, que combina permeabilidade e resistência mecânica. Contudo, ainda apresentam desafios como baixa hidrofilicidade, elevada suscetibilidade à incrustação e fragilidade do filme seletivo ultrafino de poliamida (Idarraga-Mora et al., 2018). Para superar essas limitações, pesquisas recentes têm explorado modificações estruturais e a incorporação de nanomateriais, buscando ampliar a durabilidade e o desempenho das membranas (El-Din et al., 2015). Entre as alternativas promissoras, a incorporação de nanotubos de

carbono (CNTs) em matrizes poliméricas tem mostrado resultados expressivos no aumento da resistência mecânica, da condutividade e da hidrofiliidade, além de conferir maior caráter anti-incrustante às membranas (El-Din et al., 2015; Gao et al., 2021). De forma complementar, o óxido de polietileno (PEO) destaca-se por sua alta hidrofiliidade e potencial origem renovável, uma vez que pode ser obtido a partir de rotas alternativas do etanol derivado de biomassas como a cana-de-açúcar (Lucky et al., 2022). Entretanto, sua solubilidade em água exige estratégias como reticulação para ampliar sua estabilidade em meios aquosos (Kianfar et al., 2021). Neste projeto, propõe-se o desenvolvimento de membranas nanocompósitas inovadoras à base de PEO e CNTs, produzidas via eletrofiação e funcionalizadas por plasma de Descarga em Barreira Dielétrica (DBD). A otimização do processo será conduzida pela metodologia de superfície de resposta (RSM), permitindo avaliar estatisticamente os principais parâmetros que influenciam a eficiência das membranas. Essa abordagem busca não apenas melhorar a seletividade e resistência química e mecânica das membranas de NF, mas também alinhar a pesquisa ao princípio da sustentabilidade, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) da ONU, voltados ao acesso universal à água potável e ao saneamento (UN, 2015).

Metodologia

3.1 Materiais e reagentes A lista de materiais e reagentes utilizados neste trabalho está listado na Tabela 1. Tabela 1. Lista de materiais e reagentes utilizados nesta pesquisa. Reagentes e materiais Pureza Fornecedor Óxido de polietileno de baixo ≥ 95 % peso (200.000 g/mol) molecular Sigma Aldrich Acetona P.A. 99,5 % Clorofórmio P.A ANIDROL 99,8 % Ortossilicato de Tetraetila DINÂMICA 99,8 % Ácido Sulfúrico Sigma Aldrich 99,8 % Água destilada DINÂMICA - - **3.2 Preparação das soluções e testes de fiação** O polietileno-óxido (PEO) foi selecionado para a fabricação das membranas em função de sua alta hidrofiliidade, resistência mecânica e biocompatibilidade, além da possibilidade de obtenção a partir de rotas alternativas, como o óxido de etileno derivado do etanol de biomassas renováveis (Lucky et al., 2022). Inicialmente, foram preparadas soluções de PEO de baixo peso molecular (200.000 g/mol) (figurax), em concentrações de 8 e 10% (m/m), sob agitação magnética a 25°C por tempo suficiente para a completa homogeneização da solução. Para avaliar os efeitos da polaridade do meio na dissolução do polímero e na fiação, foram utilizadas duas misturas de solventes, definidas a partir da adaptação de metodologias de Benito et al. (2017), Moraes et al. (2021) e Son et al. (2004): ● (I) ● (II) Clorofórmio:acetona Água:clorofórmio:acetona (50:50, (20:40:40, m/m); m/m). Paralelamente, foram realizados testes com PEO de alto peso molecular (1.000.000 g/mol), em diferentes concentrações e combinações de solventes. Devido ao maior comprimento de cadeia, esse polímero requer um meio mais polar para solubilização adequada. Assim, com base em Filip e Peer (2019), foram produzidas soluções contendo 4% (m/m) de PEO sob agitação magnética a 25°C, utilizando duas misturas: ● Água:acetona ● Água:clorofórmio:acetona (50:50, (25:35:40, m/m); m/m). **7 A produção das membranas** foi realizada por meio da técnica de fiação por sopro em solução (Solution Blow Spinning – SBS) (Figura 1), utilizando o aparato desenvolvido pelo Laboratório de Processamento de Materiais por Plasma (LabPlasma/UFRN) em parceria com o

Laboratório de Mecânica dos Fluidos (CT/UFRN). O sistema consiste em uma caixa de vidro (40×100×52 cm) (Figura 2), garantindo controle do ambiente e da dispersão das fibras. Ele é composto por um bico de extrusão com alimentação de ar comprimido, um injetor manual acoplado a uma seringa de 5 mL e uma mangueira cateter para introdução da solução polimérica. A coleta das fibras foi realizada em barreira estática e em coletor rotativo (Figura 3), com pressão de ar de aproximadamente 1 bar e distância de 26 cm entre o bico e o coletor. Devido à alta viscosidade e baixa volatilidade de algumas soluções, foi necessário o aumento controlado da temperatura de fiação em determinadas situações para favorecer a formação das fibras. Após a análise das diferentes condições de fiação, verificou-se que o melhor desempenho foi alcançado utilizando a solução de clorofórmio:acetona na proporção de 50:50 (m/m), contendo 10% (m/m) de PEO de 200.000 g/mol. A fiação foi realizada a 90°C, com fluxo manual de aproximadamente 0,5 mL/min, distância de 26 cm entre o coletor e a agulha, e pressão de ar de 1 bar. Essas condições foram definidas como as mais adequadas e, portanto, adotadas para dar continuidade ao processo de modificação química das membranas nanofibrosas.

3.3 Reticulação do polímero As reações de reticulação foram conduzidas no LABTEN/IQ/UFRN, utilizando o agente reticulante ortossilicato de tetraetila (TEOS). O processo de cross-linking foi realizado a partir de soluções homogêneas de polietileno óxido (PEO) de 200.000 g/mol, visando estabelecer as melhores condições reacionais para posterior aplicação na modificação de membranas nanofibrosas. O método de reticulação baseou-se na reação de hidrólise e condensação catalisada por ácido, em que o TEOS forma ligações siloxânicas (Si–O–Si), promovendo a formação de uma rede tridimensional estável que confere maior resistência química e reduz a solubilidade do polímero (Li et al., 2018). Nos testes preliminares, o PEO foi dissolvido a 10% (m/m) em mistura clorofórmio:acetona (50:50 m/m), sob agitação magnética e aquecimento a 60°C. Após completa dissolução do polímero, adicionaram-se gotas de ácido sulfúrico concentrado como catalisador, seguidas da adição controlada de TEOS. Foram utilizadas proporções de aproximadamente 0,01 g de H₂SO₄ e 0,5 g de TEOS para cada 1 g de PEO. A reação foi conduzida por 2h, período em que se observou a formação de um precipitado branco e diminuição da viscosidade da solução, indicadores qualitativos de uma reticulação eficiente. Ao final, adicionou-se água para precipitação completa do PEO reticulado, o qual foi separado por centrifugação a 3000 rpm por 15 min e posteriormente seco em estufa a 60°C por 12h.

3.4 Cura térmica Após a definição das condições ótimas nos ensaios preliminares, a metodologia de reticulação aplicada às membranas seguiu o procedimento adaptado de Sundararajan, Samui e Kulkarni (2019). A solução polimérica foi preparada em clorofórmio:acetona (50:50 m/m) contendo 10% (m/m) de PEO 200.000 g/mol, homogeneizada por agitação magnética à temperatura ambiente. Os reagentes de reticulação (H₂SO₄ e TEOS), nas mesmas 8 proporções estabelecidas anteriormente, foram adicionados imediatamente antes do processo de fiação eletrostática. Após a fiação de cerca de 5 mL da solução a 90°C, a membrana obtida (M1) foi seccionada em quadrados de 2×2 cm para a etapa de cura térmica. Algumas amostras foram submetidas a uma imersão adicional em TEOS (M2), enquanto outras foram curadas diretamente (M3), apenas com a concentração inicial do agente reticulante. As amostras foram embrulhadas em papel alumínio, para evitar volatilização dos reagentes, e submetidas a tratamento térmico em estufa a 60°C por 2h, condição que favorece a ativação da reticulação. A eficiência do processo foi avaliada qualitativamente por meio da análise de solubilidade das m

Resultados e Discussões

4.1 Preparação de soluções para fiação A definição das condições ideais de fiação foi um passo fundamental no desenvolvimento das membranas nanofibrosas de PEO. Após a avaliação de diferentes combinações, verificou-se que a solução formada por clorofórmio:acetona (50:50 m/m), contendo 10% (m/m) de PEO 200.000 g/mol, apresentou o melhor desempenho. As condições operacionais – temperatura de 90 °C, fluxo de solução de aproximadamente 0,5 mL/min, distância de 26 cm entre agulha e coletor e pressão de 1 bar – resultaram em membranas com maior uniformidade e estabilidade, possibilitando a continuidade das etapas de modificação química. Esses parâmetros foram escolhidos por proporcionarem a fiação estável e a formação de fibras contínuas, essenciais para garantir a integridade estrutural da membrana. 4.2

Reticulação do PEO Nos testes preliminares de reticulação do PEO, conduzidos em solução homogênea com TEOS como agente reticulante e H₂SO₄ como catalisador, observou-se que as melhores condições envolveram a dissolução do polímero a 10% (m/m) em clorofórmio:acetona (50:50 m/m), sob aquecimento a 60°C e agitação magnética. A formação de precipitado branco (Figura 5) e a redução da viscosidade do meio confirmaram a ocorrência da reticulação, posteriormente corroborada pela insolubilidade do produto em água. Esses resultados demonstram a eficiência do método empregado, indicando que o processo de cross-linking conferiu maior estabilidade química ao PEO, característica essencial para aplicação em meios aquosos, como os processos de dessalinização. 4.3 Cura das membranas A partir desses resultados, as membranas nanofibrosas foram submetidas à etapa de cura térmica, baseada no procedimento adaptado de Sundararajan, Samui e Kulkarni (2019).

Amostras foram tratadas diretamente após a fiação, enquanto outras receberam imersão adicional em TEOS antes da cura. Em ambos os casos, a exposição em estufa a 60°C por 2 horas promoveu a reticulação, avaliada por meio de testes qualitativos de solubilidade. Os resultados confirmaram que a combinação do agente reticulante com o tratamento térmico potencializa a resistência à dissolução das membranas, com destaque para as amostras que receberam a etapa de imersão extra em TEOS, que apresentaram maior insolubilidade e, portanto, maior eficiência de reticulação. (Figura 6, 7) 4.4

TG/DTG TG/DTG foi utilizada para avaliar a estabilidade térmica das membranas, comparando o comportamento do PEO puro e do PEO reticulado. O PEO puro apresentou um único evento de perda de massa, característico da degradação térmica das suas cadeias, na faixa de 330 a 427 °C, com temperatura máxima de degradação em 404 °C. Esse comportamento, que resultou em perda quase total de 10 massa e resíduo final em torno de 4%, está de acordo com a natureza orgânica do material e com dados reportados na literatura (Omosola et al., 2022; Vrandečić et al., 2010). Em contraste, o PEO reticulado exibiu uma perda de massa mais gradual, ocorrendo entre 340 e 590 °C, com dois picos de degradação em 390 e 425 °C. A perda final foi de apenas 18%, confirmando maior resistência térmica em relação ao PEO puro. A partir de 590 °C, observou-se ainda um ganho de massa, que pode estar associado a interações com o gás de purga (N₂) ou a erros de calibração do equipamento, sendo necessária a repetição do ensaio para confirmação. De forma geral, os resultados (Figura 8) indicam que o processo de reticulação com TEOS promoveu um aumento significativo na estabilidade térmica do PEO, elevando sua resistência em aproximadamente 12% em comparação ao polímero puro, o que reforça a eficácia do método empregado. 4.5 MEV-FEG O MEV-FEG foi fundamental para observar a morfologia superficial das membranas, avaliando

a continuidade das fibras, presença de defeitos e a influência das condições de fiação (taxa de injeção, coletor, reticulação). A figura 9 revela fibras homogêneas, com diâmetros a partir de 87,10 nm e ampla variação, o que é esperado pela influência da taxa de injeção da solução polimérica. As fibras apresentaram morfologia cilíndrica, levemente rugosa e distribuídas aleatoriamente, formando membranas uniformes em macroescala. Um resultado importante foi a ausência de beads, indicando que os parâmetros de fiação (concentração, taxa e pressão) foram adequados. O uso do coletor rotativo aumentou a densidade da deposição, embora sem promover alinhamento significativo, devido ao fluxo de ar não uniforme. Observou-se também que a adição de TEOS não comprometeu a estrutura das fibras; contudo, apenas após a cura térmica houve interconexão das fibras, tornando as membranas insolúveis. Foi observada boa capacidade de fiação, com fibras contínuas e sem contas em todas as membranas. A adição de TEOS na fiação (Figura 10A) não comprometeu a estrutura das fibras, mas não foi suficiente para tornar a membrana insolúvel. Após a cura térmica por 2h a 60°C (Figura 10C), ocorreu interconexão entre as fibras, tornando a membrana insolúvel e confirmando, em conjunto com os outros métodos de caracterização utilizados, a eficiência do método de reticulação com TEOS. Já nas membranas imersas em TEOS antes da cura (Figura 10B), o excesso do agente promoveu quebra de fibras, agregação exagerada e obstrução dos poros, resultando em morfologia comprometida, maior fragilidade e aspecto quebradiço. Quando o excesso de TEOS foi usado (imersão), houve quebra de fibras e agregação, o que reduziu a qualidade estrutural e mecânica das membranas. Esses achados reforçam que o processo de fiação e reticulação adotado foi eficiente, mas exige controle rigoroso da quantidade de TEOS para evitar fragilidades.

4.6 DRX O DRX permitiu identificar a cristalinidade do PEO e como a reticulação altera sua estrutura, uma vez que o grau de ordem influencia propriedades mecânicas, térmicas e de solubilidade. O PEO puro (P1) apresentou padrão cristalino característico, com dois picos distintos em $2\theta = 19,1^\circ$ e $23,3^\circ$, conforme relatado por Mohapatra, Thakur e Choudhary (2009). Em 11 contraste, o PEO reticulado (P6) exibiu um amplo halo amorfo e ausência de picos definidos, em concordância com Shao et al. (2013) e De Oliveira Queiroz et al. (2017). A membrana fiada com TEOS antes da cura térmica (M3) apresentou padrão semelhante ao PEO puro, mas com picos de menor intensidade, indicando que a presença de TEOS interfere na cristalização do polímero, formando cristais menores. Essa redução da intensidade e o alargamento dos picos estão diretamente relacionados à diminuição da fração cristalina e ao tamanho dos cristais (Choudhary; Sengwa, 2015). Já as membranas curadas termicamente a 60°C por 2h, tanto com TEOS apenas na solução polimérica (M1) quanto após imersão em TEOS (M2), apresentaram perfis semelhantes ao PEO reticulado (P6), sem picos nítidos, confirmando a formação de uma morfologia amorfa e a efetiva ocorrência da reticulação. Esses achados corroboram a literatura, que aponta a reticulação como método eficiente para inibir a cristalização do PEO (Chen et al., 2023). Esses resultados estão em linha com a literatura, que aponta a reticulação como estratégia eficaz para inibir a cristalização do PEO, favorecendo a obtenção de membranas mais estáveis e menos solúveis em água (Figura 11).

4.7 Ângulo de contato A medição do ângulo de contato foi usada para avaliar a hidrofiliidade/hidrofobicidade das membranas, parâmetro essencial para entender o desempenho frente à água e à incrustação. De acordo com a literatura, a reticulação com TEOS tende a reduzir o caráter hidrofílico de polímeros (Rynkowska et al., 2019; Liang et al., 2023). A membrana sem TEOS (M1) apresentou ângulo de contato próximo a 0° , confirmando sua alta hidrofiliidade e rápida dissolução em água, conforme também observado por Lorente et al. (2022). Nas

membranas com TEOS (M1, M2 e M3), os ângulos variaram entre 47,8° e 81,1° (Figura 12), evidenciando aumento da hidrofobicidade devido à modificação superficial (Rynkowska et al., 2019). Contudo, a M1 manteve-se solúvel, indicando que a reação de reticulação requer ativação térmica (Silvestre et al., 2022). Após a cura térmica a 60°C por 2h, as membranas M2 e M3 apresentaram redução do ângulo de contato em relação à M1 e tornaram-se insolúveis. Essa diminuição foi atribuída à hidrólise do TEOS catalisada por H₂SO₄, que aumenta a polaridade da superfície. Ainda assim, os valores permaneceram superiores ao do PEO puro, o que pode estar relacionado à rugosidade formada após a reticulação, efeito descrito por Prajitno et al. (2016). Portanto, a reticulação associada à cura térmica conferiu hidrofilicidade moderada às membranas, aumentando sua estabilidade em água e reduzindo a tendência à incrustação (Rynkowska et al., 2019).

4.8 Considerações finais Em síntese, o presente trabalho demonstrou a viabilidade da produção de membranas nanofibras de PEO obtidas por fiação por sopro em solução (SBS), com a aplicação de reticulação via TEOS e posterior cura térmica. Os resultados de caracterização morfológica, estrutural, térmica e de molhabilidade comprovaram que as condições experimentais empregadas foram eficazes para gerar membranas contínuas, estáveis e resistentes à dissolução em água, características fundamentais para sua aplicação em processos de separação.

12 Destaca-se que a etapa de modificação superficial das membranas por tratamento de plasma DBD ainda está em andamento, sendo otimizada quanto à mistura de gases e parâmetros operacionais. Essa etapa é crucial para o ajuste fino das propriedades químicas e funcionais das fibras, de modo a potencializar o desempenho em nanofiltração. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a membrana nanofibrosa produzida apresenta características promissoras para compor uma das camadas seletivas da membrana thin-film composite (TFC), a ser finalizada em etapas posteriores deste projeto. O desenvolvimento e a integração dessas camadas permitirão avançar na concepção de membranas de nanofiltração de alta performance, alinhadas às demandas de dessalinização e ao aproveitamento sustentável dos recursos hídricos.

Conclusão

O desenvolvimento de membranas nanofibras à base de PEO e CNTs, modificadas por reticulação com TEOS, cura térmica e tratamento por plasma DBD, demonstrou ser uma estratégia eficaz para superar limitações das membranas TFC convencionais aplicadas em nanofiltração de água do mar. As análises de caracterização confirmaram a eficiência dos métodos empregados: TG/DTG evidenciou ganho de estabilidade térmica após a reticulação; DRX mostrou a transição do PEO de um padrão cristalino para morfologia amorfa, associada à inibição da cristalização; MEV-FEG revelou fibras contínuas, livres de beads, mas sensíveis ao excesso de TEOS; e a análise do ângulo de contato demonstrou que a reticulação associada à cura térmica conferiu hidrofilicidade moderada, aumentando a estabilidade em água e reduzindo a propensão à incrustação. Esses resultados validam a aplicação da estratégia combinada de reticulação e modificação superficial como caminho promissor para o desenvolvimento de membranas NF mais resistentes, seletivas e sustentáveis. Além de oferecerem ganhos de desempenho frente às tecnologias convencionais de dessalinização, as membranas desenvolvidas alinham-se ao ODS 6 da ONU, contribuindo para o avanço científico e tecnológico no enfrentamento da escassez hídrica global.

Referências

- BEHROOZI, A. et al. Recent advances in nanofiltration membranes for water treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 11, n. 1, p. 109–118, 2023. 2.
- BHATTACHARJEE, S.; KUNDU, S.; GHOSH, A. Plasma-assisted surface engineering of polymer membranes for water treatment: A review. *Journal of Membrane Science*, v. 598, p. 117661, 2020. 3. CHEN, J. et al. Crosslinking strategies to inhibit crystallization of PEO-based membranes. *Polymer Testing*, v. 118, p. 107–122, 2023. 4.
- CHOUDHARY, S.; SENGWA, R. J. Structural and crystallinity changes in polymer composites investigated by XRD. *Polymer International*, v. 64, p. 1522–1532, 2015. 5.
- DE OLIVEIRA QUEIROZ, A. A. A. et al. PEO-based membranes: crystallinity and amorphization after chemical modifications. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 134, p. 448–459, 2017. 6. EL-DIN, M. G. et al. Carbon nanotube-based membranes for water treatment. *Desalination*, v. 359, p. 1–14, 2015. 7. FILIP, P.; PEER, P. Poly(ethylene oxide) solubility and electrospinning studies in polar solvent systems. *Polymer Bulletin*, v. 76, n. 11, p. 5739–5752, 2019. 8. GAO, Y. et al. Carbon nanotube modified membranes for enhanced water treatment performance. *Separation and Purification Technology*, v. 254, p. 117–129, 2021. 9. GUDE, V. G. Desalination and sustainability – An appraisal and current perspective. *Water Research*, v. 89, p. 87–106, 2016. 10. IDARRAGA-MORA, J. A. et al. Structure and performance of thin-film composite membranes for desalination. *Journal of Membrane Science*, v. 563, p. 954–968, 2018. 11. JIANG, Z.; ZHAO, Y.; XU, H.; HE, X. Dielectric barrier discharge plasma treatment of polymer membranes: Surface modification and applications. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, v. 38, n. 3, p. 563–584, 2018. 12.
- KHARITONOV, A. P.; NIKOLAEV, A. Y.; KHARITONOVA, L. N. Modification of polymer membranes by plasma treatment. *Polymer Science Series A*, v. 57, n. 6, p. 689–707, 2015. 15 16 13. KIANFAR, E. et al. Crosslinking strategies for improving poly(ethylene oxide) membranes. *Polymer*, v. 213, p. 123–134, 2021. 14. LIANG, S. et al. Surface modification of PEO membranes using TEOS crosslinking. *Separation and Purification Technology*, v. 310, p. 123–139, 2023. 15. LORENTE, M. et al. Solubility behavior of PEO nanofibrous membranes in aqueous systems. *Journal of Membrane Science*, v. 665, p. 110–125, 2022. 16. LUCKY, R. A. et al. Sustainable production routes of ethylene oxide from bioethanol. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 157, p. 112–124, 2022. 17. MISRA, A.; NAYAK, S. K.; MOHANTY, S. Plasma surface modification of polymer membranes for desalination and water treatment: A critical review. *Desalination*, v. 500, p. 114853, 2021. 18. MOHAMAPATRA, S. R.; THAKUR, A. K.; CHOUDHARY, R. N. Crystal structure of PEO investigated by X-ray diffraction. *Polymer International*, v. 58, p. 1090–1095, 2009. 19. MOHAMMAD, A. W. et al. Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects. *Desalination*, v. 356, p. 226–254, 2015. 20. MORAES, A. C. M. et al. Electrospinning of poly(ethylene oxide) for nanostructured membranes: Effects of solvents and polymer concentration. *Materials Research*, v. 24, n. 2, 2021. 21. OMOSOLA, O. et al. Thermal degradation behavior of polyethylene oxide: TG/DTG insights. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 147, p. 1115–1126, 2022. 22. PRAJITNO, D. H. et al. Effect of surface roughness on wetting properties of polymer membranes. *Applied Surface Science*, v. 380, p. 232–240, 2016. 23. RYNKOWSKA, E.; FOLDAK, A.; DEBEK, C. Hydrophilicity reduction of PEO based membranes by TEOS crosslinking. *Journal of Membrane Science*, v. 586, p. 200–210, 2019. 24. SHANNON, M. A. et al.

Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, v. 452, p. 301–310, 2008. 25. SHAO, J. et al. Structural transitions in PEO membranes upon crosslinking. *Polymer*, v. 54, p. 4782–4790, 2013. 26. SILVESTRE, A. J. D. et al. Thermal curing effects on crosslinked PEO membranes. *Polymer Degradation and Stability*, v. 199, p. 109–124, 2022. 27. SON, W. K.; YOUK, J. H.; PARK, W. H. Preparation of ultrafine oxidized cellulose fibers via electrospinning. *Macromolecular Rapid Communications*, v. 25, n. 18, p. 1632–1637, 2004. 28. SUNDARARAJAN, S.; SAMUI, A. B.; KULKARNI, P. S. Cross-linked polymer membranes: Synthesis, characterization and applications in water treatment. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 136, n. 20, p. 47589, 2019. Part 29. TENDERO, C. et al. Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochimica Acta B*, v. 61, p. 2–30, 2006. 30. UNITED NATIONS (UN). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations, 2015. 31. UNITED NATIONS. *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. Paris: UNESCO, 2018. 32. VRANDEČIĆ, N. S. et al. Thermal stability of poly(ethylene oxide): decomposition analysis. *Thermochimica Acta*, v. 510, p. 97–102, 2010. 33. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *State of Global Water Resources Report 2022*. Geneva: WMO, 2023. 34. ZHOU, Z. et al. Scaling and fouling in reverse osmosis desalination: Mechanisms, control, and mitigation. *Water Research*, v. 175, p. 115–135, 2020.

Anexos

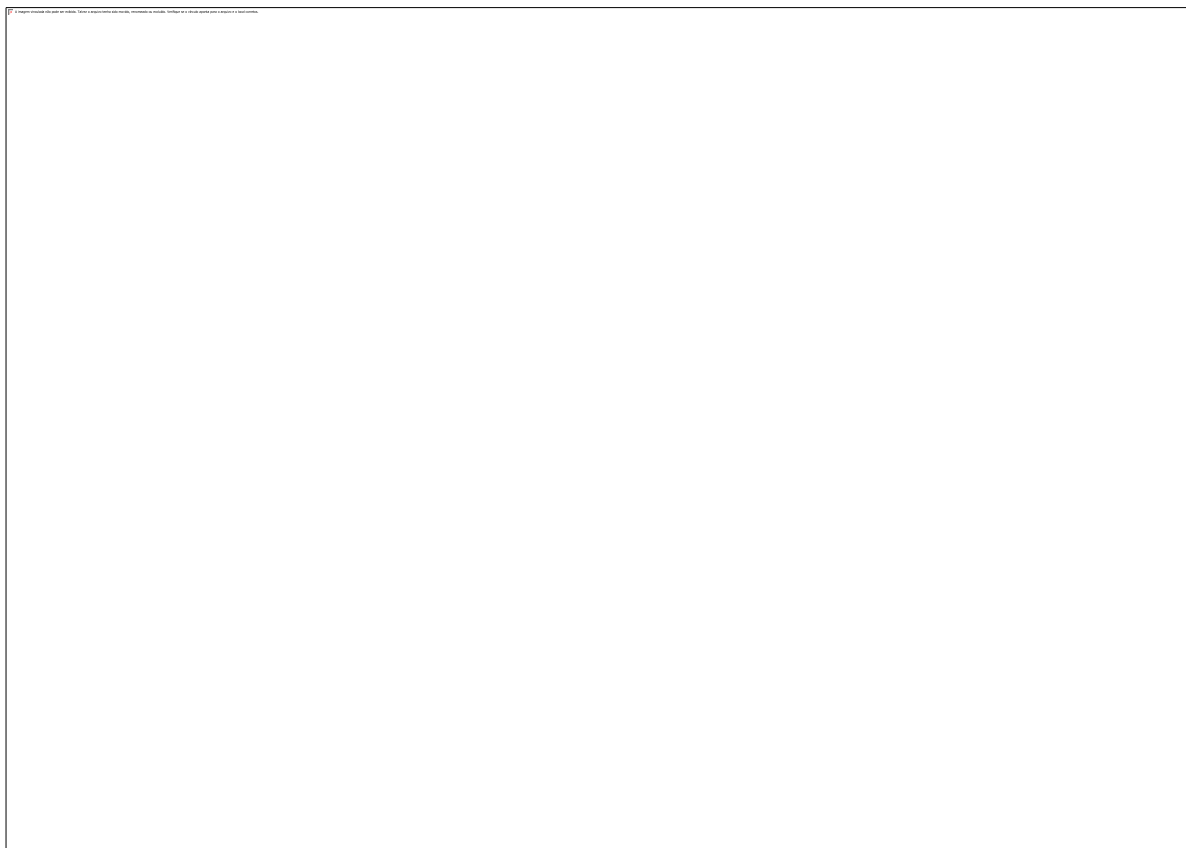


Figura 1 - Esquema de equipamento de Fiação a Sopros em solução. (Fonte: MORE et al, 2023)

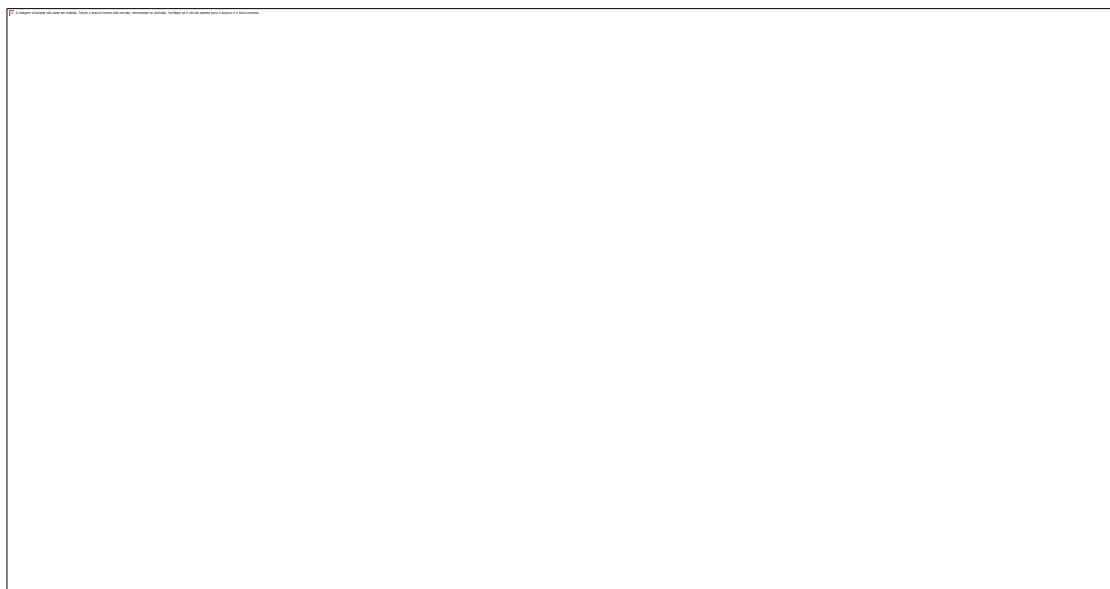


Figura 2 - Sistema SBC com barreira estática. (Fonte: autor)

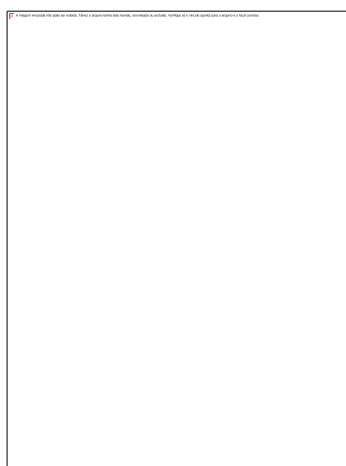


Figura 3 - Coletor rotativo. (Fonte: autor)

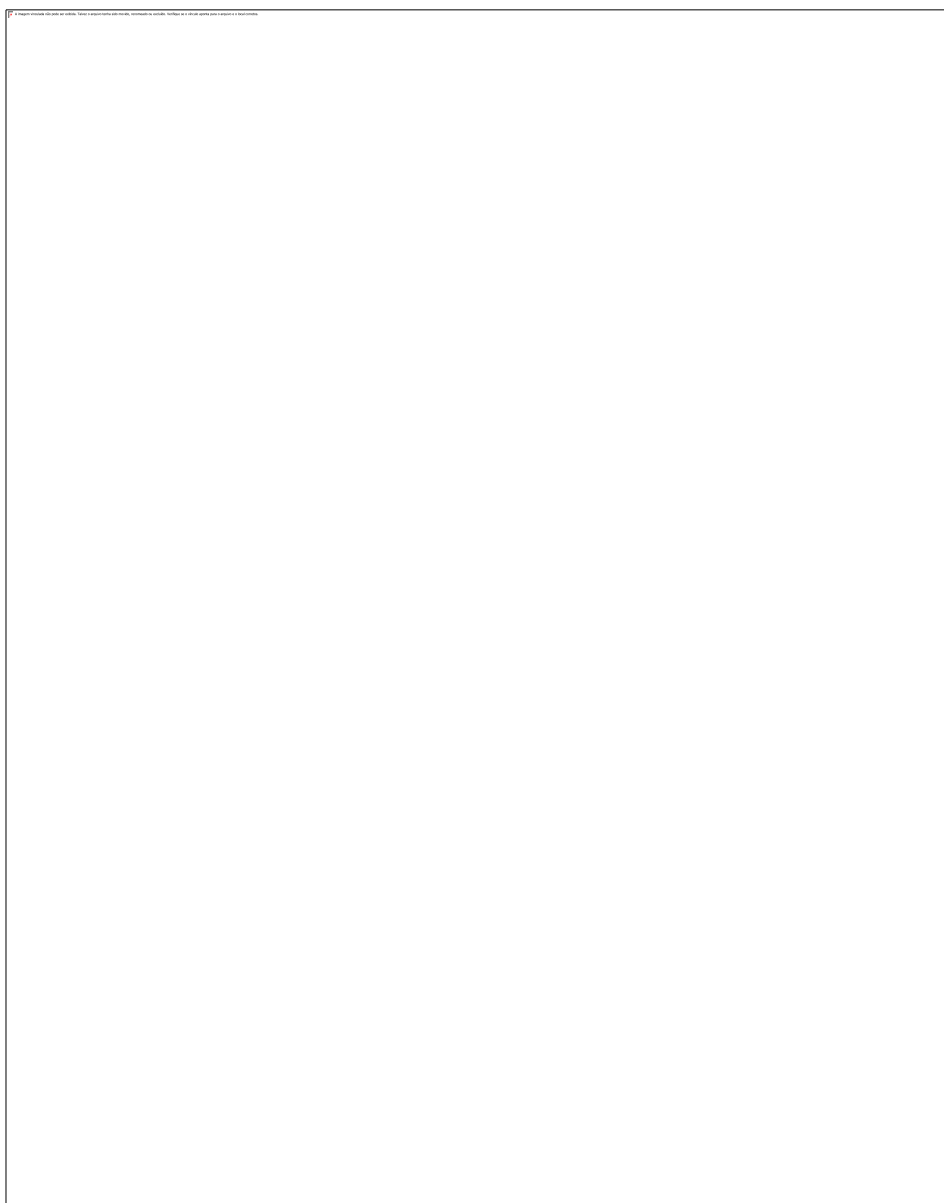


Figura 4 - Preparação das membranas para reticulação e cura térmica. (Fonte: autor)

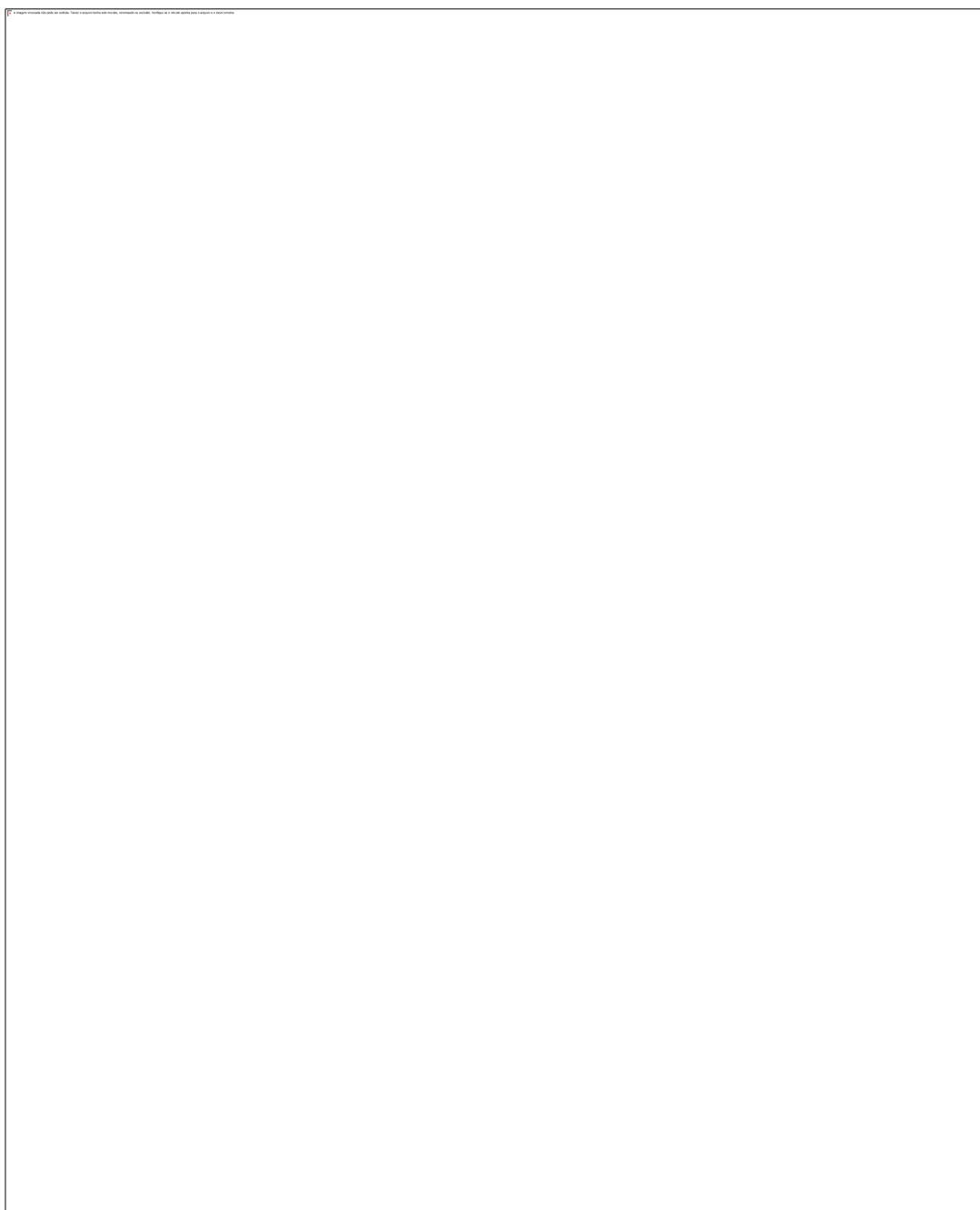


Figura 5 - Precipitado branco na amostra. (Fonte: autor)

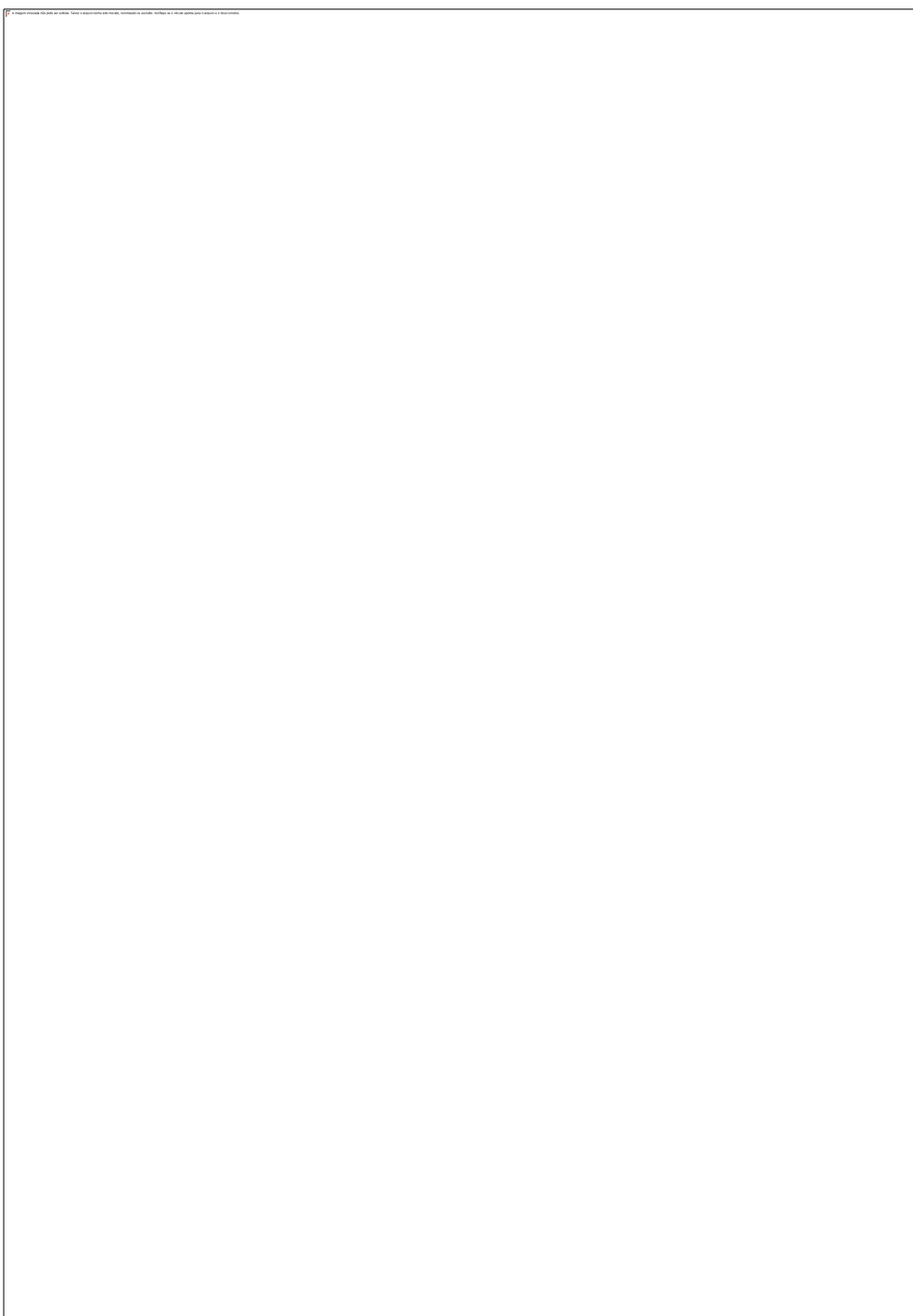


Figura 6 - Teste de solubilidade (M1). (Fonte: autor)

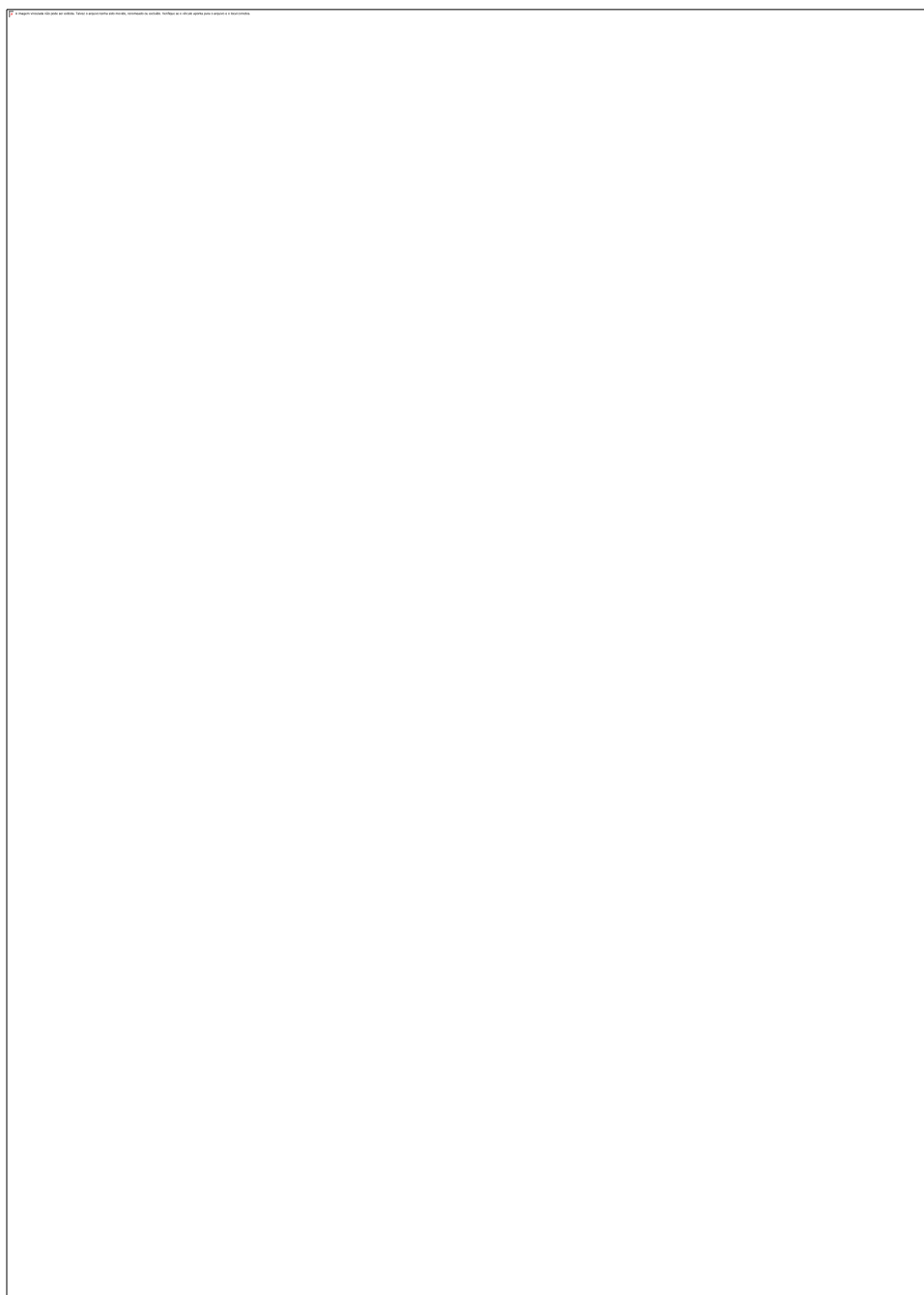


Figura 7 - Teste de solubilidade (M2). (Fonte: autor)

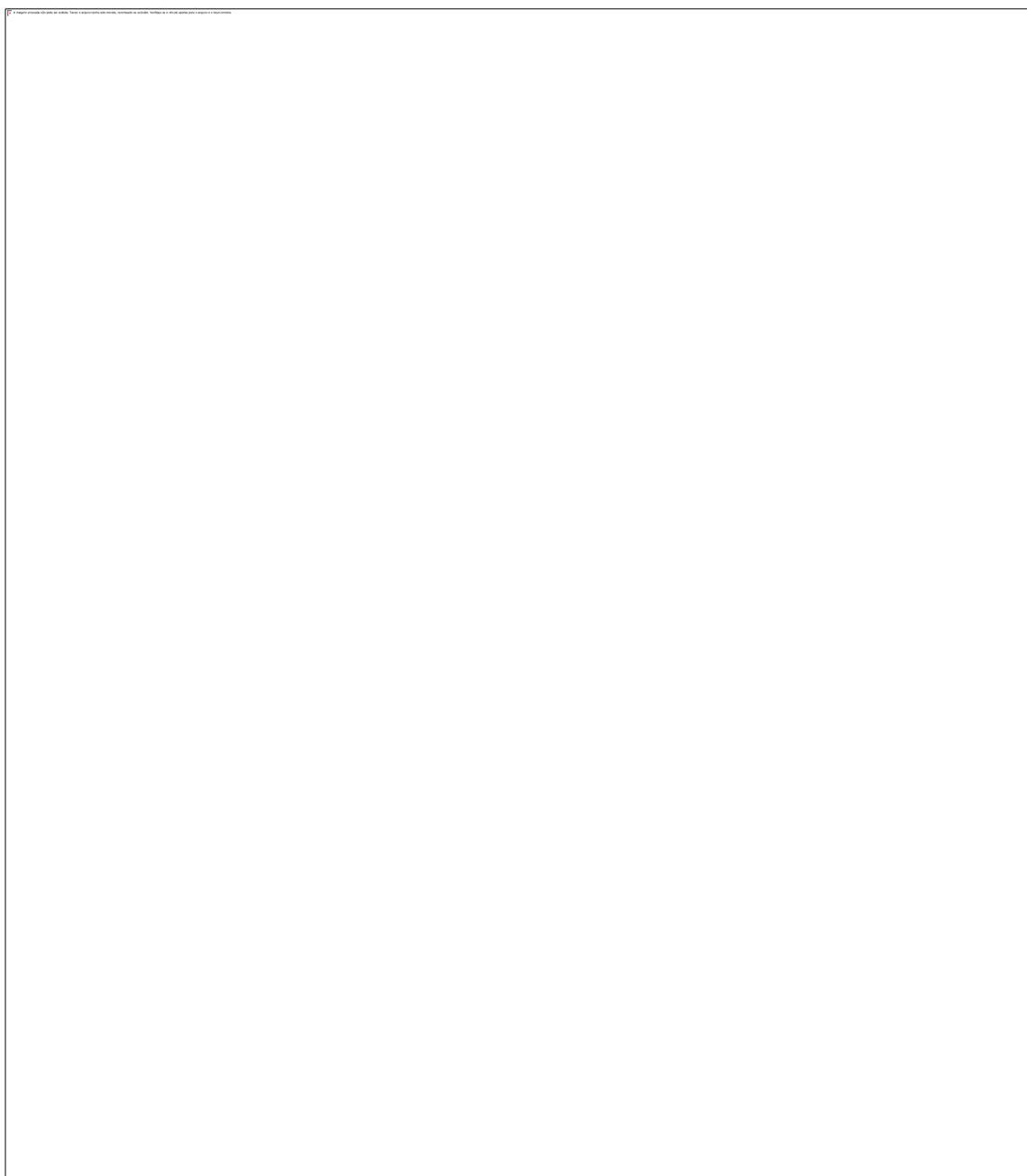


Figura 8 - Curvas TG/DTG obtidas para o PEO puro (P1) e reticulado em solução (P6).

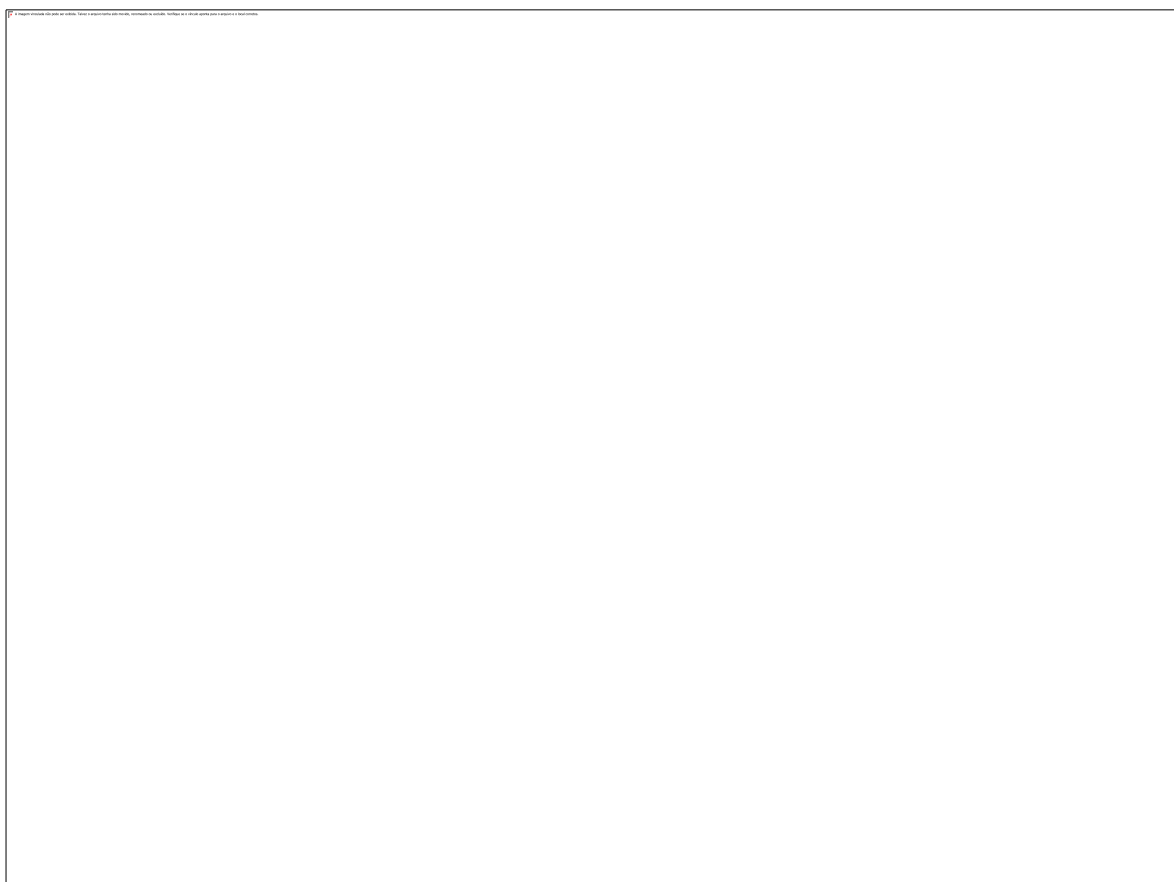


Figura 9 - Imagens de MEV-FEG das membranas de PEO (10% m/m) obtidas sob diferentes condições experimentais: ME1 – coletor estático; M0 – coletor rotativo.

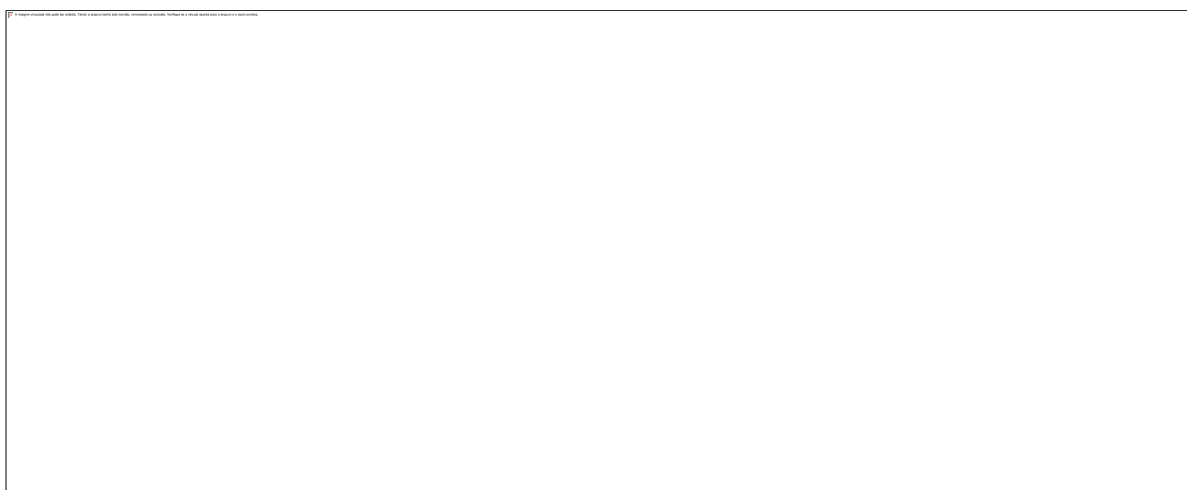


Figura 10 - Imagens de MEV-FEG das membranas reticuladas.

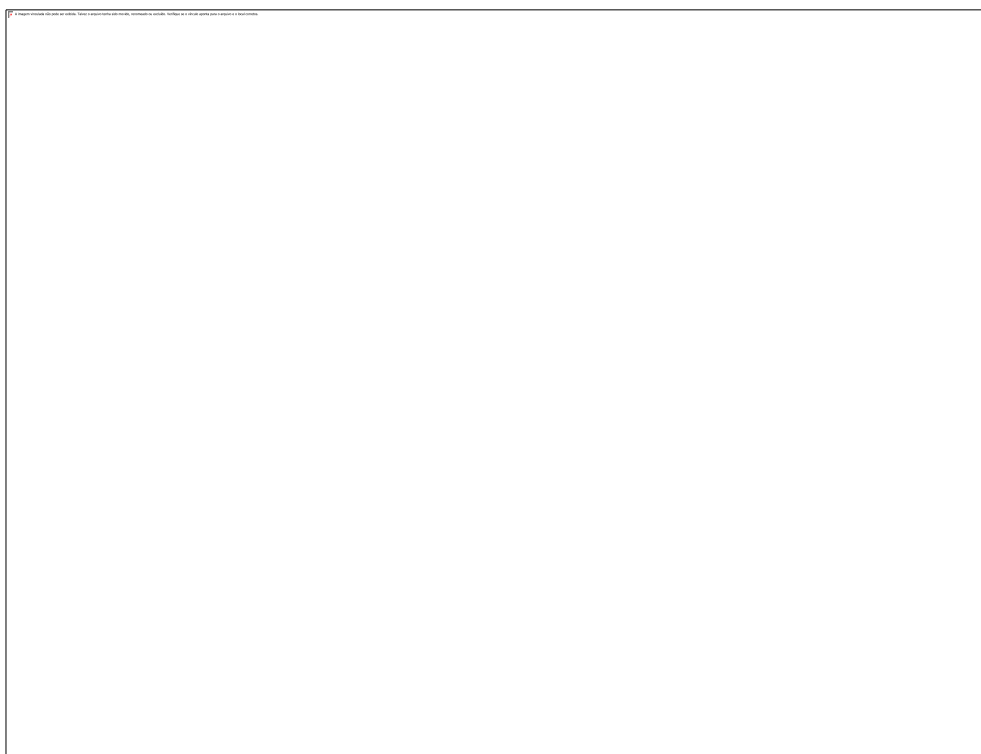


Figura 11 - Padrões de difração de raios X (DRX) do PEO puro (P1), PEO reticulado (P6), membrana fiada com TEOS sem cura (M1), membrana fiada com TEOS e incremento de gotas de TEOS antes da cura (M2), e membrana fiada com TEOS e curada (M3).

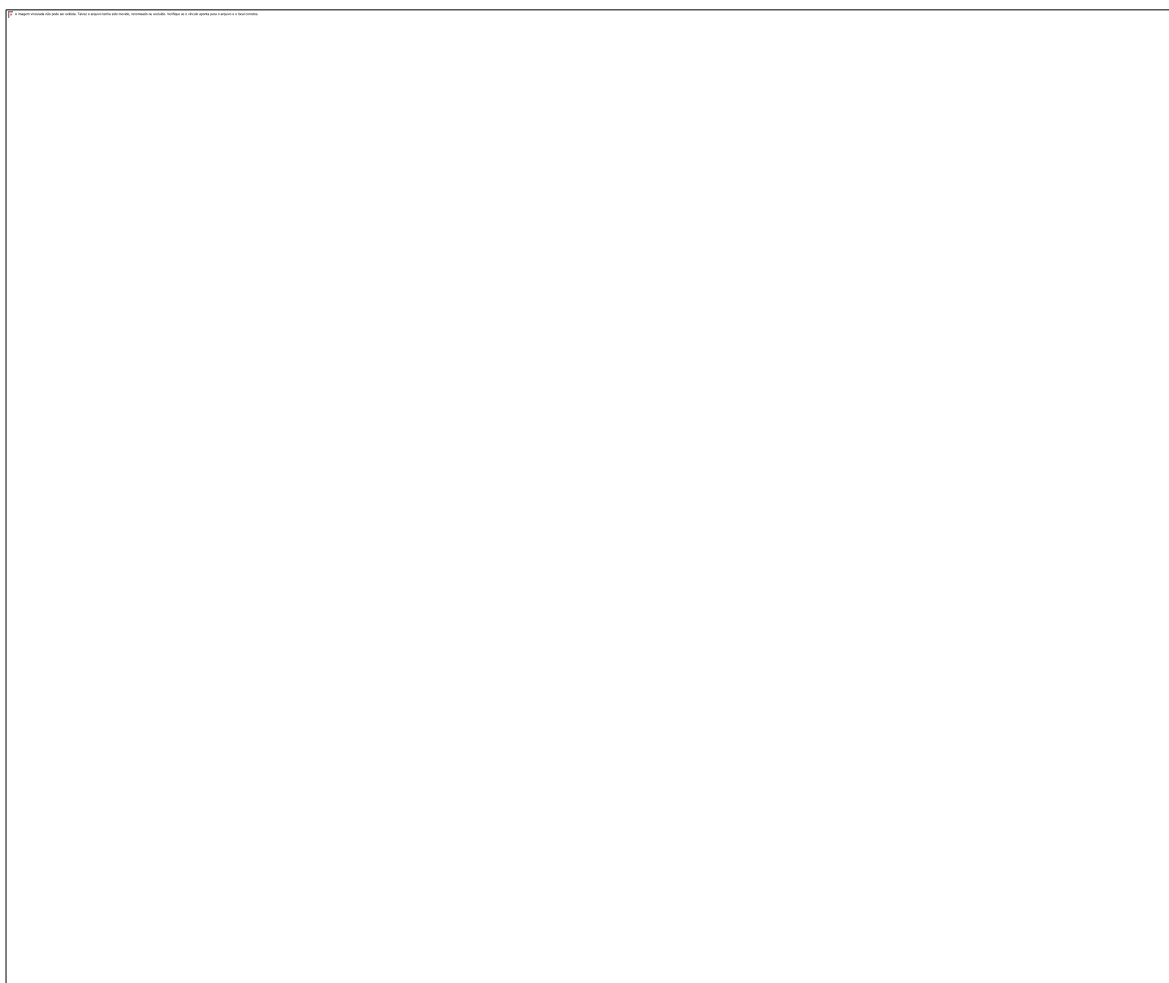


Figura 12 - Análise do ângulo de contato da gota de água com as membranas M1, M2 e M3.

CÓDIGO: ET0505

AUTOR: MARIA RITA FERNANDES BRITO

ORIENTADOR: YURI DANIEL JATOBA COSTA

TÍTULO: Modelagem numérica de estacas helicoidais em areia sob ciclagem bidirecional

Resumo

Este trabalho investiga o comportamento cíclico de estacas helicoidais instaladas em areia por meio de simulações tridimensionais pelo método dos elementos finitos (MEF). O modelo numérico desenvolvido foi validado com base em dados de campo previamente publicados. Foram aplicadas sequências bidirecionais de compressão–tração e tração–compressão, em 20 ciclos por ensaio, contemplando amplitudes simétricas com cargas máximas de ± 50 , ± 100 e ± 200 kN e amplitudes assimétricas, com cargas máximas de $+150/-50$ kN, $-150/+50$ kN, $+50/-150$ kN e $-50/+150$ kN. Os resultados mostram laços de histerese com degradação de rigidez transitória no primeiro ciclo e subsequente estabilização. Observou-se que a amplitude de carga domina a resposta do regime cíclico: para ± 50 e ± 100 kN houve tendência ao regime de shakedown plástico, enquanto para ± 200 kN os resultados sugerem ratcheting (taxa de deslocamento residual não nula). Sequências assimétricas geram deriva líquida na direção do ramo dominante. O efeito da ordem compressão seguida de tração e vice-versa é marcante nos ciclos iniciais, mas perde relevância à medida que o sistema converge para o regime imposto pela amplitude de carga.

Palavras-chave: Estacas Helicoidais; ratcheting; elementos finitos

TITLE: Numerical modeling of helical piles in sand under bidirectional cyclic loading

Abstract

This study investigates the cyclic behavior of helical piles installed in sand using three-dimensional finite element (FEM) simulations. The numerical model was validated against previously published field data. Bidirectional compression–tension and tension–compression sequences were applied, with 20 cycles per test, covering symmetric amplitudes with peak loads of ± 50 , ± 100 , and ± 200 kN, and asymmetric amplitudes with peak loads of $+150/-50$ kN, $-150/+50$ kN, $+50/-150$ kN, and $-50/+150$ kN. The results show hysteretic loops with transient stiffness degradation in the first cycle

followed by stabilization. Load amplitude was found to govern the response of the cyclic regime: for ± 50 and ± 100 kN, there was a tendency toward plastic shakedown, whereas for ± 200 kN the results suggest ratcheting (nonzero residual displacement rate). Asymmetric sequences produce a net drift in the direction of the dominant branch. The effect of loading order (compression followed by tension, and vice versa) is pronounced in the initial cycles but becomes secondary as the system converges to the regime controlled by the load amplitude.

Keywords: Helical Piles; ratcheting; finite elements.

Introdução

Estacas helicoidais são elementos de fundação profunda constituídos por uma haste metálica central à qual se soldam, de forma rígida, hélices distribuídas ao longo do fuste. Sua instalação ocorre por rotação, com aplicação de torque no topo da haste, promovendo a penetração helicoidal no terreno. Quando corretamente instaladas, a hélice de ponta corta o solo e as demais a seguem, resultando em mínima perturbação do maciço adjacente (KULHAWY, 1985). Inicialmente difundidas para resistir a esforços de tração — sobretudo em torres de linhas de transmissão e telecomunicações — as estacas helicoidais vêm ampliando seu campo de aplicação e, no Brasil, seu uso se consolidou a partir dos anos 2000 (TSUHA, 2007).

Durante a vida em serviço, essas fundações frequentemente são solicitadas por ciclos de carga e descarga — devidas, por exemplo, a variações de vento, ação de ondas, operações transitórias e sismos de baixa intensidade — que podem induzir acúmulo de deformações permanentes e degradação de rigidez ao longo do tempo (ANDERSEN; PUECH; JARDINE, 2013). Nesses regimes cíclicos, o solo pode responder de maneira predominantemente elástica, entrar em shakedown ou evoluir para ratcheting (acúmulo plástico progressivo).

Apesar do avanço no entendimento da capacidade monotônica e do desempenho à tração, ainda persiste uma lacuna quanto ao efeito da ordem e sequência dos ciclos (compressão-tração versus tração-compressão) e da amplitude das solicitações na resposta de estacas helicoidais. Em especial, faltam critérios práticos para identificar limiares entre elasticidade, shakedown e ratcheting e avaliar como a história de influencia a degradação de rigidez e a segurança ao longo da vida útil.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a resposta de estacas helicoidais submetidas a ciclagem alternada de tração e compressão, em diferentes níveis de intensidade, com ênfase no papel da ordem dos carregamentos. Especificamente, busca-se medir e comparar o acúmulo de deslocamentos permanentes por ciclo sob diferentes sequências de aplicação e estabelecer parâmetros para distinguir os regimes de resposta por acumulação de deformações permanentes.

Metodologia

Este trabalho foi baseado nos resultados de provas de carga em estaca helicoidal realizadas por Costa (2017) em um terreno composto por camadas de areia, localizado no Campus Central da UFRN. Foram executadas simulações numéricas tridimensionais com o método dos elementos finitos (MEF) sobre a estaca helicoidal instalada no solo arenoso e sujeita a diferentes regimes de carregamentos cíclicos bidirecionais (tração e compressão).

O perfil do terreno é apresentado na Figura 1 e a estaca helicoidal possui 4,23 m de comprimento, haste tubular metálica Ø 73 mm e três hélices com diâmetros 250, 300 e 350 mm (Figura 2).

Na concepção do modelo numérico em MEF, definiu-se um prisma de solo com a estaca no centro (Figura 3) e origem dos eixos x, y, z no topo da estaca. Considerando efeitos de borda reportados na literatura (BOLTON et al., 1999; RAWAT; GUPTA, 2017; KNAPPETT et al., 2016), adotaram-se dimensões 5 m × 5 m no plano x-z e 10 m de profundidade (y). O fuste da estaca foi representado por elementos de casca e as hélices por elementos de placa, com comportamento do aço elástico linear. As propriedades adotadas para o aço da estaca foram as seguintes: espessura = 12,15 mm, módulo de elasticidade = 210 GPa, peso específico = 78 kN/m³, coeficiente de Poisson = 0,3. O solo foi modelado como areia drenada via modelo constitutivo Hardening Soil (HS), o qual possui dependência de rigidez com a tensão de confinamento. Os parâmetros adotados para cada camada estão sintetizados na Tabela 1. Para simular o efeito da instalação, o maciço foi particionado em uma zona deformada (em torno da estaca, solo perturbado durante a instalação) e uma zona indeformada (maciço não afetado). Empregou-se elemento de interface entre solo e aço, com $R_{inter} = 0,54$, a fim de evitar descontinuidades indesejadas de tensões e deformações na interface.

Após a definição geométrica, o PLAXIS gerou malha superficial 2D de triângulos de 6 nós e, a partir dela, malha 3D de prismas de 15 nós (Figura 3). O refinamento foi intensificado na vizinhança da estaca e das interfaces. Realizaram-se simulações para calibração de parâmetros e verificação de sensibilidade (variações de geometria e parâmetros na zona deformada), seguidas da validação do modelo-base para, então, aplicar as sequências cíclicas. A validação do modelo numérico foi feita por comparação com os resultados das provas de carga realizadas em campo (COSTA, 2017).

Cada simulação, compreendeu 20 ciclos, sendo considerados dois padrões distintos: sequências bidirecionais de compressão seguida de tração e vice-versa:

Sequência C→T (iniciando em compressão): $0 \rightarrow +Q_{max} \rightarrow 0 \rightarrow -Q_{max} \rightarrow 0$
Sequência T→C (iniciando em tração): $0 \rightarrow -Q_{max} \rightarrow 0 \rightarrow +Q_{max} \rightarrow 0$

em que $+Q_{max}$ é a carga máxima de compressão e $-Q_{max}$ é a carga máxima de tração.

As simulações contemplaram oito sequências bidirecionais distintas, com amplitudes simétricas e assimétricas, conforme listado na Tabela 2.

Resultados e Discussões

As respostas numéricas foram analisadas à luz das sequências cíclicas bidirecionais definidas na metodologia (20 ciclos por simulação) com dois padrões de ordem — C→T e T→C — e conjuntos de amplitudes simétricos (± 50 , ± 100 , ± 200 kN) e assimétricos (p.ex., $+150/-50$ kN), conforme a Tabela 2. Esses cenários foram modelados no estudo (E1–E9), com a convenção de sinais +Q para compressão e –Q para tração.

As curvas carga axial-deslocamento vertical ao longo dos ciclos (Figuras 4–13) mostram laços de histerese característicos, com primeiro ciclo mais aberto e deslocamento de pico mais elevado, sinalizando rearranjo estrutural do maciço arenoso na vizinhança das hélices, seguido por laços progressivamente mais fechados, com redução do deslocamento incremental para a mesma amplitude de carga. Esse comportamento é consistente com uma degradação inicial de rigidez (transitória) e subsequente estabilização.

Há, contudo, assimetria de resposta no ciclo inicial condicionada pela ordem de carregamento. Quando a compressão ocorre antes da tração, predomina deslocamento positivo (recalque da estaca) no primeiro ciclo de compressão, seguido de maior deslocamento requerido para atingir a tração de pico. Isto é coerente com uma compactação inicial do solo abaixo das hélices. Na situação oposta, ou seja, quando a tração precede a compressão, o primeiro ciclo em tração induz deslocamento negativo (elevação da estaca) e possível amolecimento local abaixo das hélices, levando a um recalque subsequente mais pronunciado quando a compressão é aplicada.

Essas leituras ajudam a explicar a diferença de rigidez secante do 1º ciclo entre as ordens, ainda que a influência da instalação não tenha sido considerada no modelo (incorporar o efeito construtivo, com rotação descendente das hélices, tenderia a aumentar a densificação na direção da compressão e a reduzir a rigidez em tração, possivelmente invertendo parte das assimetrias observadas).

As Figuras 14 a 23 apresentam a evolução do deslocamento vertical permanente (plástico) obtido ao término de cada ciclo. Nota-se que a amplitude da carga é o fator primário na magnitude e no ritmo de acumulação de deformações permanentes: casos de ± 200 kN exibem patamares de deslocamento plástico por ciclo significativamente superiores aos de ± 50 kN, enquanto as séries assimétricas ($+150/-50$ kN; $-150/+50$ kN; $+50/-150$ kN; $-50/+150$ kN) mostram deriva líquida na direção do pico dominante, como esperado em solo não coesivo quando a história de tensões favorece um dos ramos.

No tocante aos regimes de resposta, para amplitudes baixas a moderadas (± 50 e ± 100 kN), a taxa incremental de deslocamento permanente por ciclo tende a decrescer ao longo dos ciclos, compatível com o estado de shakedown plástico, no qual a estrutura solo–estaca converge para um regime de pequenas acumulações por ciclo e laços de histerese mais fechados. Para a amplitude ± 200 kN, os resultados sugerem uma taxa residual de acúmulo não nula, indicando ratcheting incipiente (acúmulo plástico progressivo).

Em séries assimétricas, além da deriva líquida, a ordem do carregamento (compressão e tração ou tração e compressão) também influencia as deformações no primeiro ciclo. Iniciar pela carga de maior magnitude tende a produzir maior plastificação inicial e laço de histerese mais aberto no 1º ciclo, repercutindo nos patamares subsequentes de deslocamento permanente, efeito que se atenua à medida que a resposta caminha para o regime assintótico definido pela amplitude dominante. As sequências E7 a E10, documentadas na Tabela 2, são particularmente úteis para demonstrar essa assimetria de deriva.

Os deslocamentos verticais plásticos (Figuras 14–23) permitem inferir mecanismos associados às hélices: sob compressão, concentra-se plastificação abaixo da hélice inferior e ao longo do fuste imediato. Por outro lado, sob tração, intensifica-se a plastificação acima das hélices, refletindo a mudança do sentido das tensões de contato solo–hélice/fuste. Isso reflete no desenvolvimento dos laços carga–deslocamento nos ciclos, de modo a ocorrer laços com maior histerese (mais abertos) quando os mecanismos mobilizados envolvem zonas já perturbadas pela sequência anterior, e laços de menor histerese (mais fechados) quando o histórico reduz progressivamente a capacidade de rearranjo granular.

Conclusão

Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento cíclico de estacas helicoidais em areia sujeitas a cargas verticais, por meio de simulações numéricas tridimensionais por elementos finitos. O modelo numérico foi validado com dados de campo previamente publicados. Aplicaram-se sequências bidirecionais de compressão–tração e tração–compressão, com 20 ciclos por ensaio, abrangendo amplitudes simétricas e assimétricas.

Observou-se que a amplitude de carregamento é o principal controlador do regime de resposta cíclica. Para as cargas máximas aplicadas de ± 50 e ± 100 kN, a taxa incremental de deslocamento permanente por ciclo decresce e o sistema converge para shakedown, ao passo que para a carga máxima de ± 200 kN, observa-se ratcheting, com taxa residual distinta de zero.

A sequência compressão/tração ou tração/compressão exerce marcante influência a resposta do sistema. As sequências diferem nos ciclos iniciais, mas a influência decai à medida que o sistema converge ao regime imposto pela amplitude de carga.

Combinações de carga assimétricas produzem deriva líquida do deslocamento permanente na direção do ramo dominante, exigindo atenção em verificações de serviço baseadas em limites acumulados.

Referências

ANDERSEN, K. A.; PUECH, A. A.; JARDINE, R. J. Cyclic resistant geotechnical design and parameter selection for offshores engineering and other applications. Paris: TC 209 Workshop, 18th ICSMGE, 2013.

BOLTON, M. D.; GUI, M. W.; GARNIER, J.; et al. Centrifuge cone penetration test in sand. *Géotechnique*, v. 49, 1999.

COSTA, G. F. da. Análise da zona de perturbação causada pela instalação de estacas helicoidais em solo arenoso. 2017. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

KNAPPETT, J. A.; CAUCIS, K.; BROWN, ...; et al. CHD pile performance: part II – numerical modelling. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering*, v. 169, n. 5, p. 436–454, 2016.

KULHAWY, F. H. Uplift behavior of shallow soil anchors – an overview. In: *Proceedings of a session sponsored by the Geotechnical Engineering Division of the American Society of Civil Engineers*. [S.l.: s.n.], 1985.

RAWAT, S.; GUPTA, A. S. Numerical modelling of pullout of helical soil nail. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, v. 9, n. 4, p. 648–658, 2017.

TSUHA, C. H. C. Modelo teórico para controle da capacidade de carga à tração de estacas metálicas helicoidais em solo arenoso. 2007. 245 f. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

Anexos

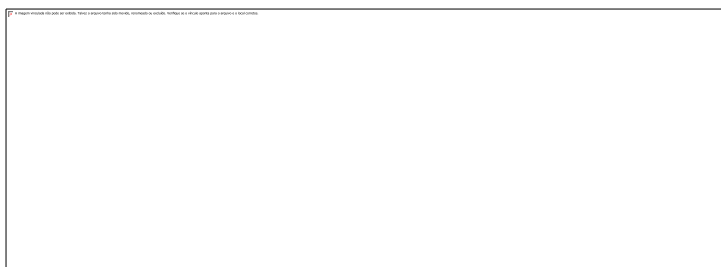


Figura 1 – Perfil do terreno e valores de N_{spt} médios com a profundidade (adaptado de COSTA, 2017)



Figura 2 – Representação geométrica da estaca helicoidal (adaptado de COSTA, 2017)

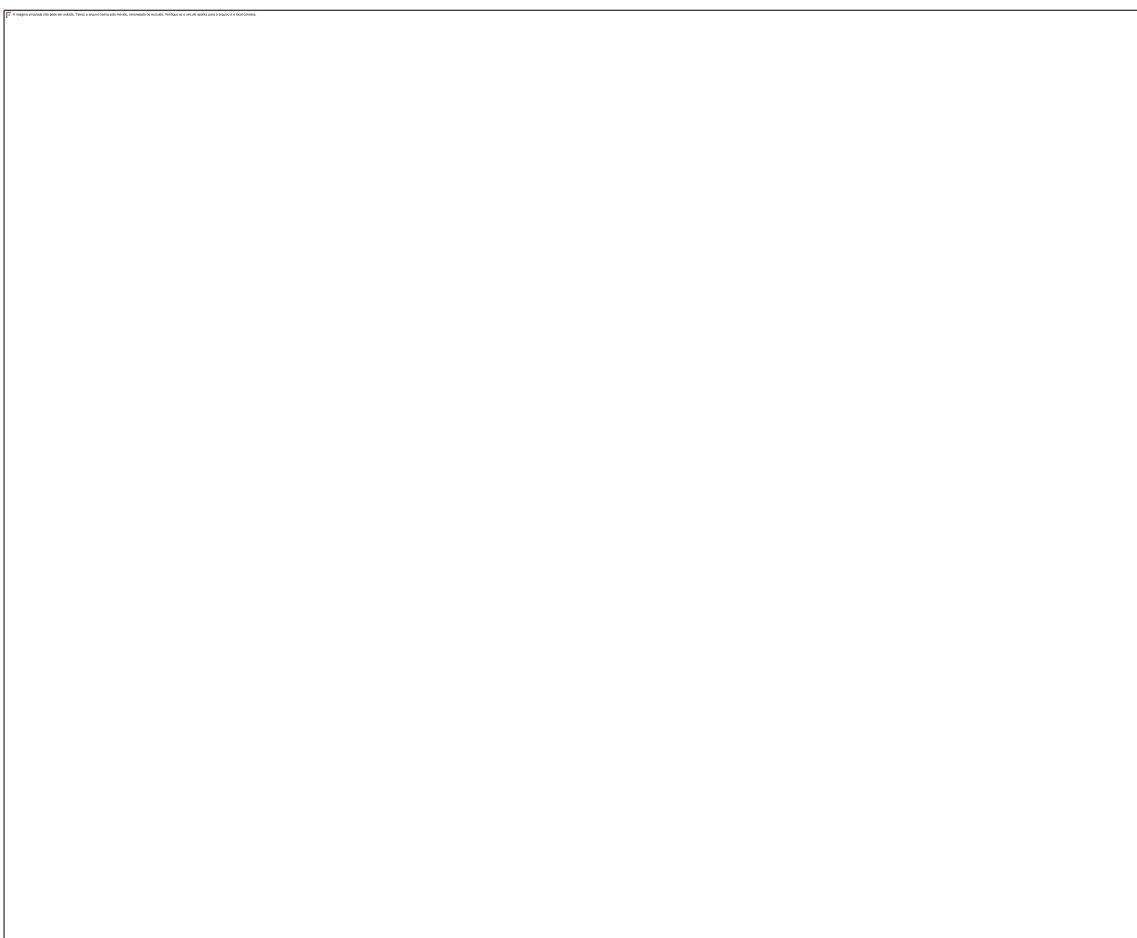


Tabela 1 — Parâmetros do solo.

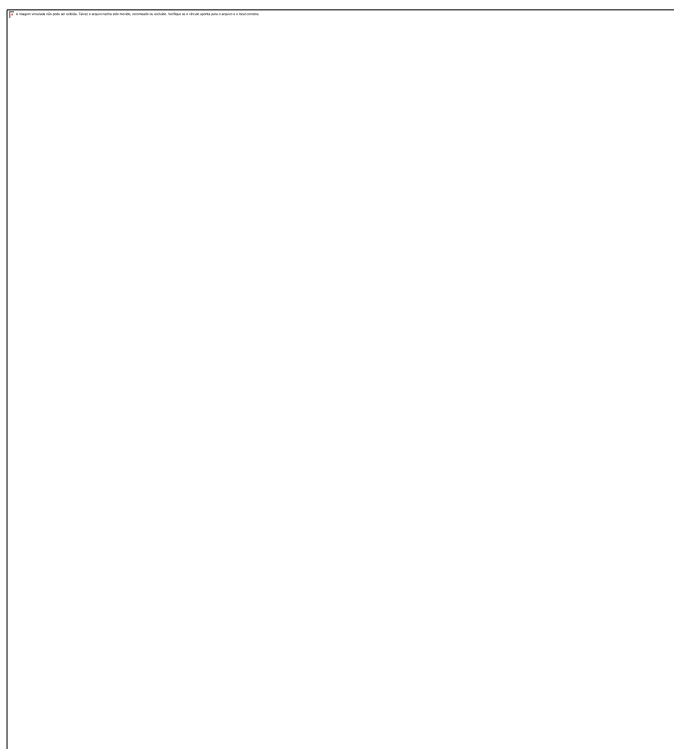


Figura 3 – Malha de elementos finitos gerada

--

Tabela 2 – Sequência e características das séries simuladas

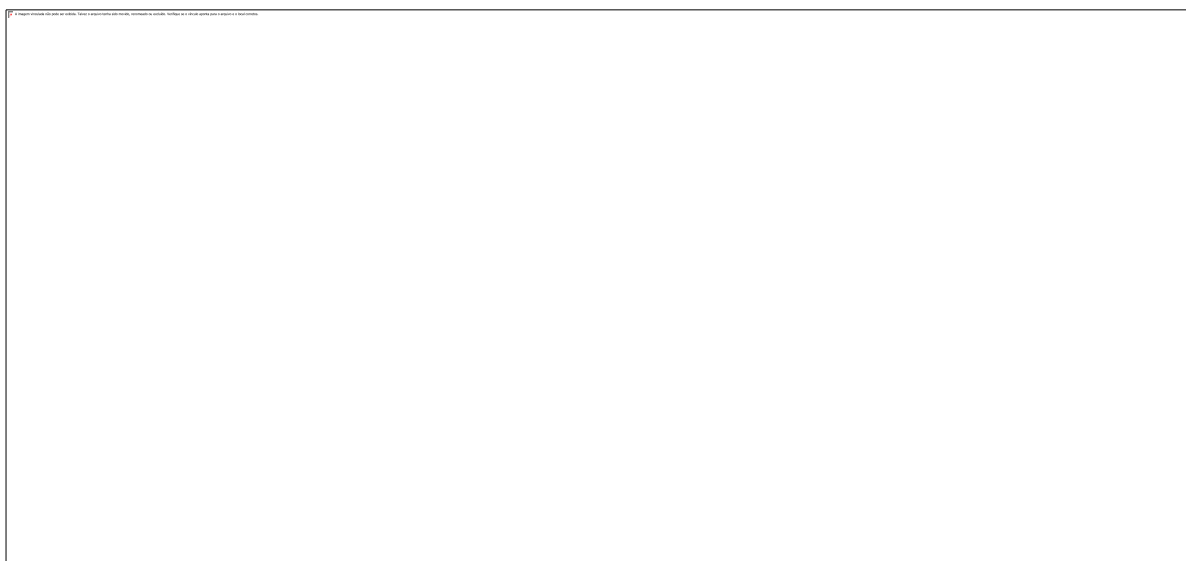


Figura 4 – Comportamento carga-deslocamento axial para carga máxima de 200 kN, início compressão.

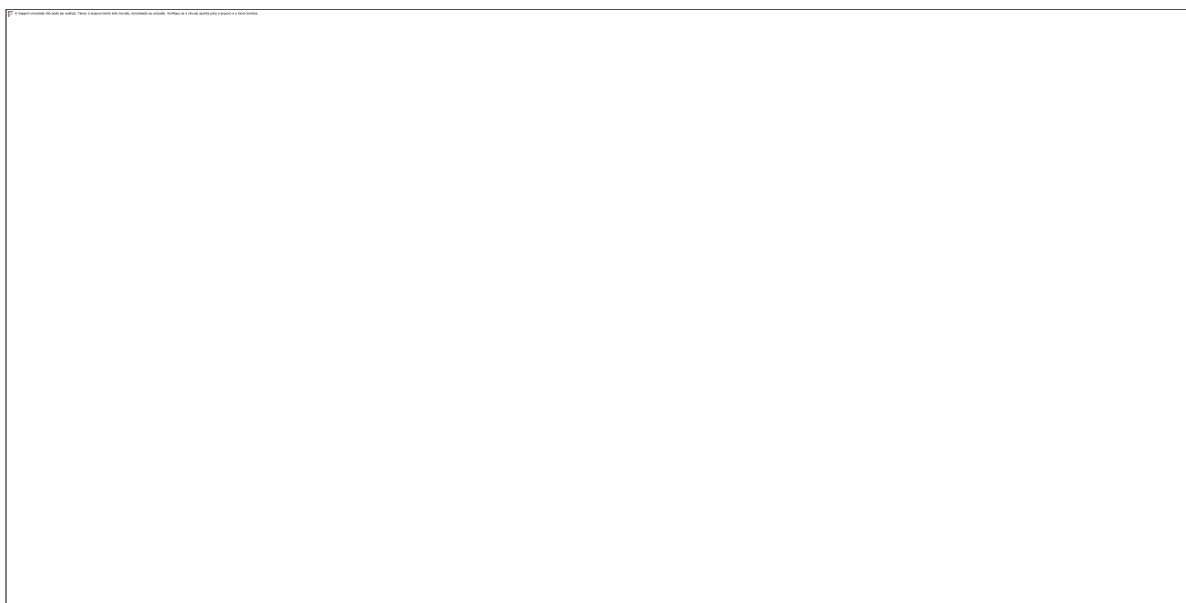


Figura 5 – Comportamento carga-deslocamento axial para carga máxima de 200 kN, início tração.

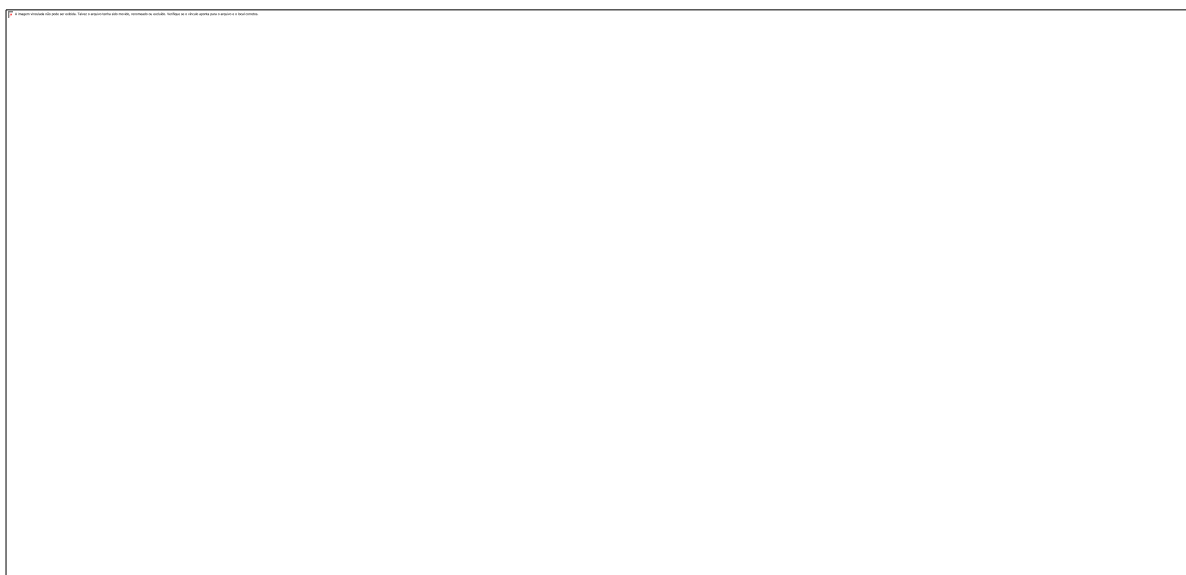


Figura 6 – Comportamento carga-deslocamento axial para carga máxima de 100 kN, início compressão.

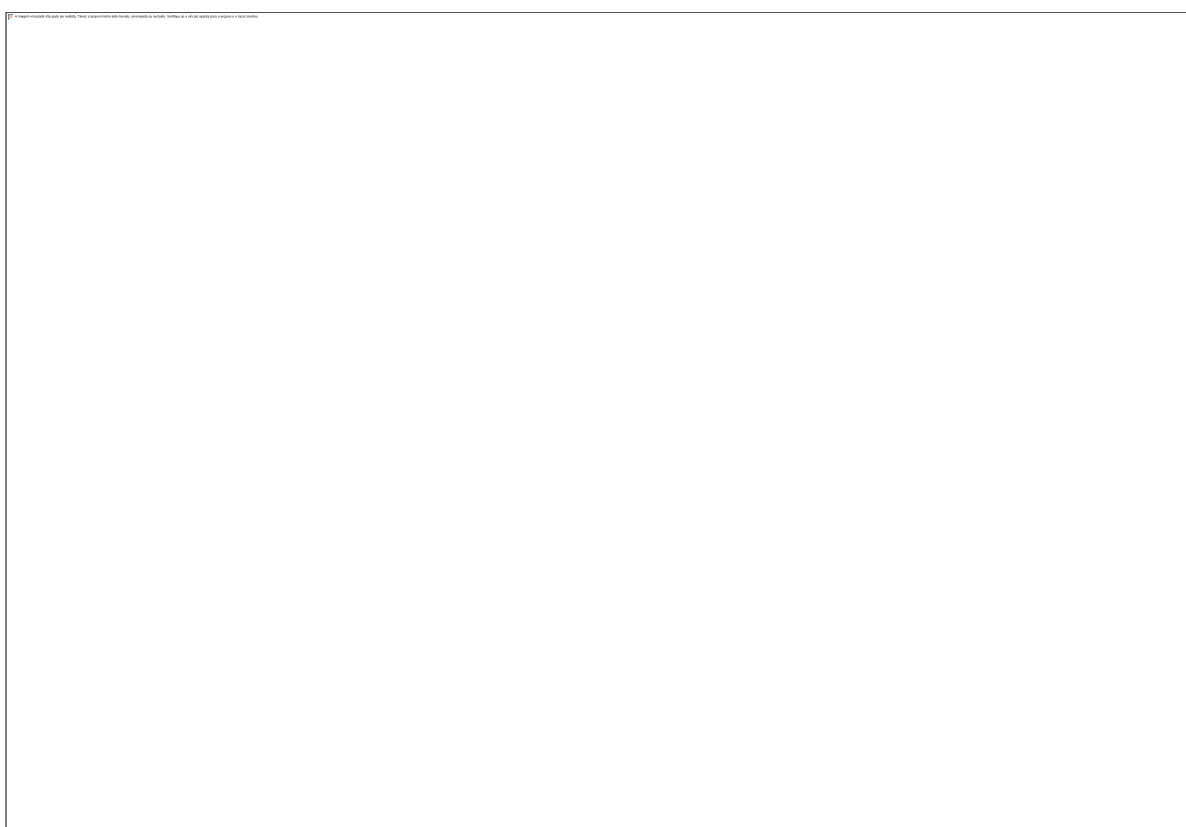


Figura 7 – Comportamento carga-deslocamento axial para carga máxima de 100 kN, início tração.

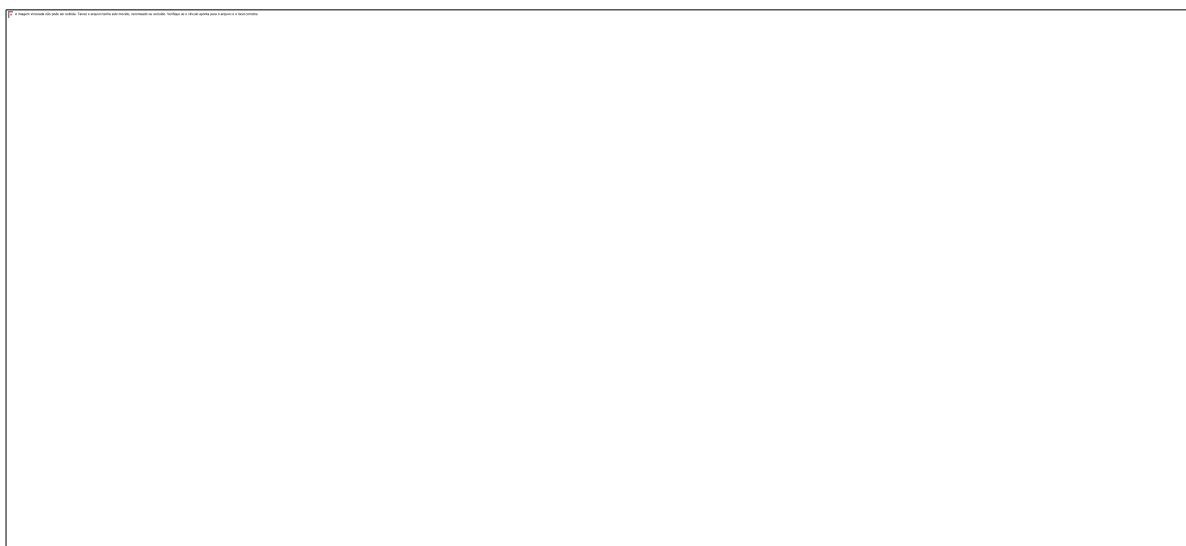


Figura 8 – Comportamento carga-deslocamento axial para carga máxima de 50 kN, início compressão.

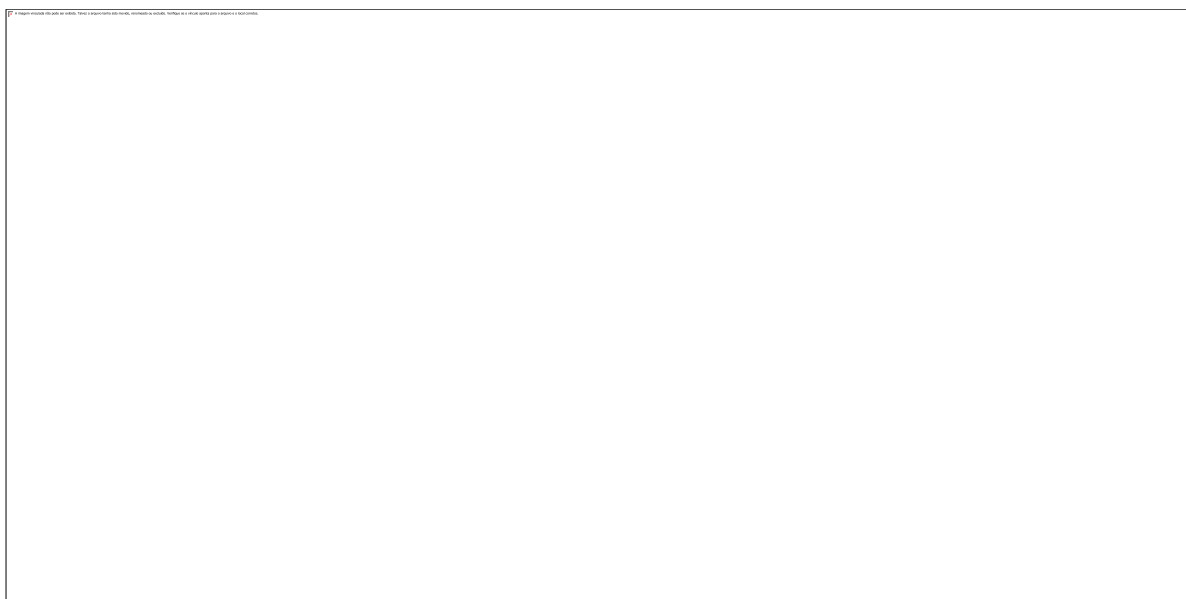


Figura 9 – Comportamento carga-deslocamento axial para carga máxima de 50 kN, início tração.

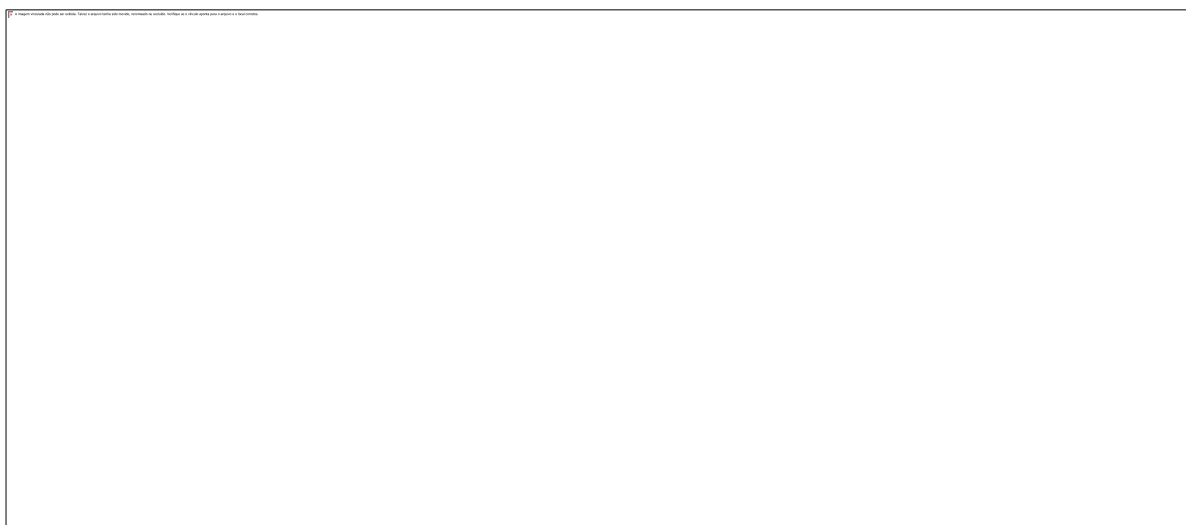


Figura 10 – Comportamento carga-deslocamento axial para carga máxima de +150 kN e -50 kN.

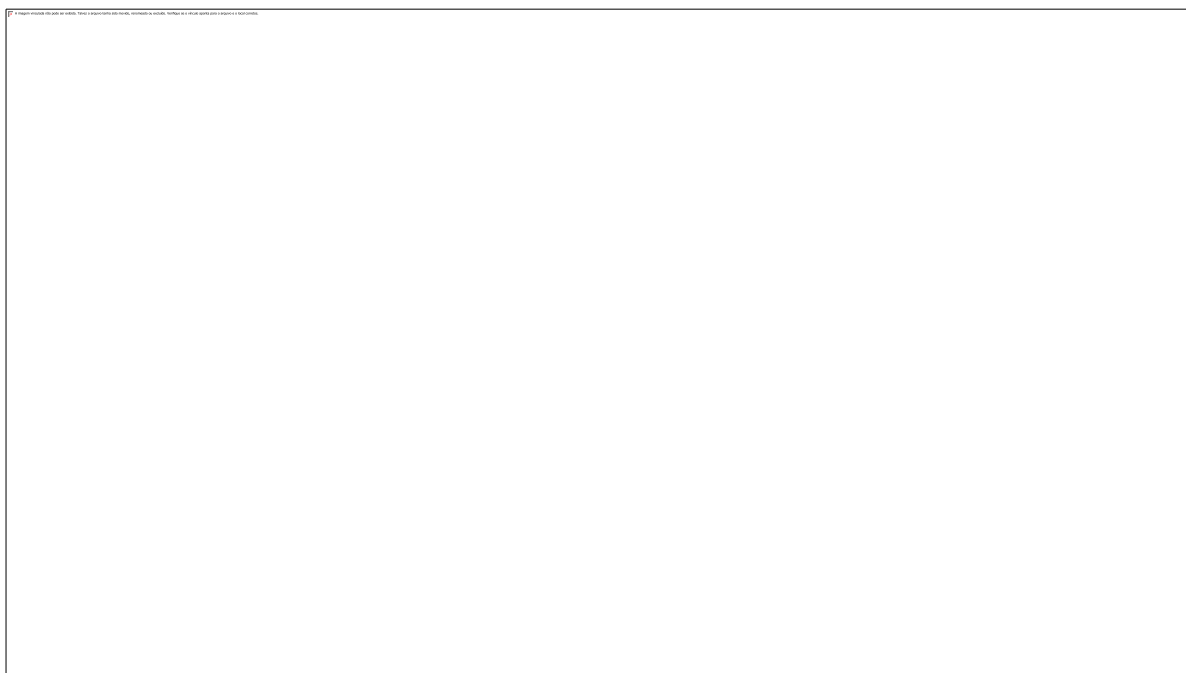


Figura 11 – Comportamento carga-deslocamento axial para carga máxima de -150 kN e +50 kN.

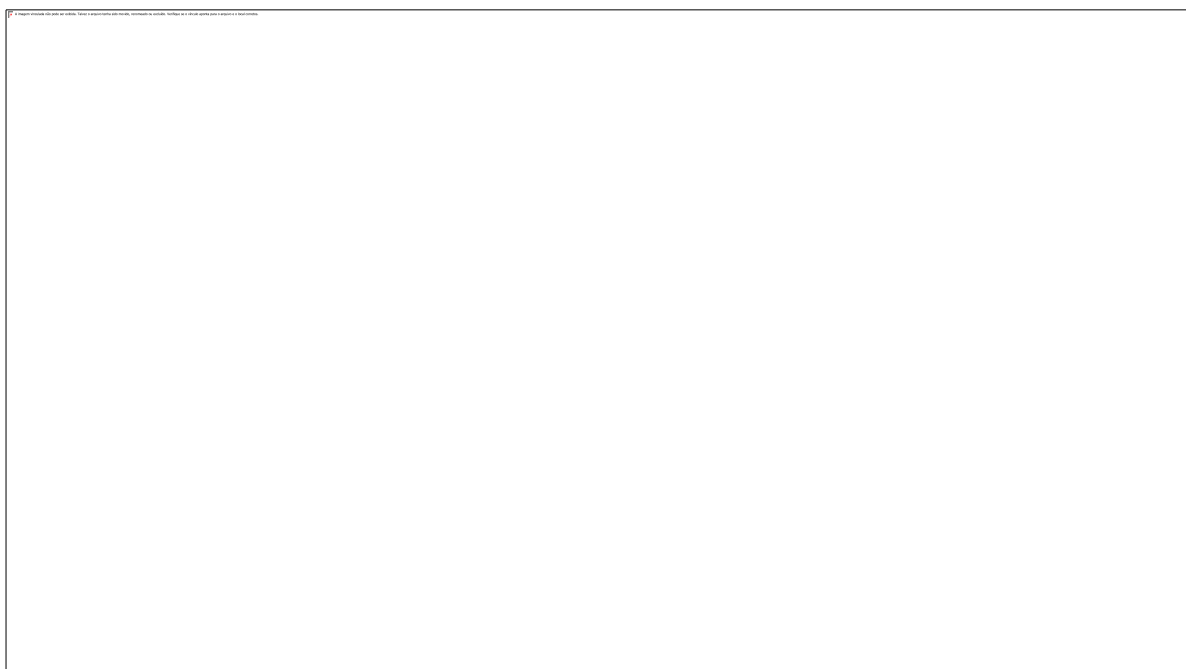


Figura 12 – Comportamento carga-deslocamento axial para carga máxima de -50 kN e +150 kN.

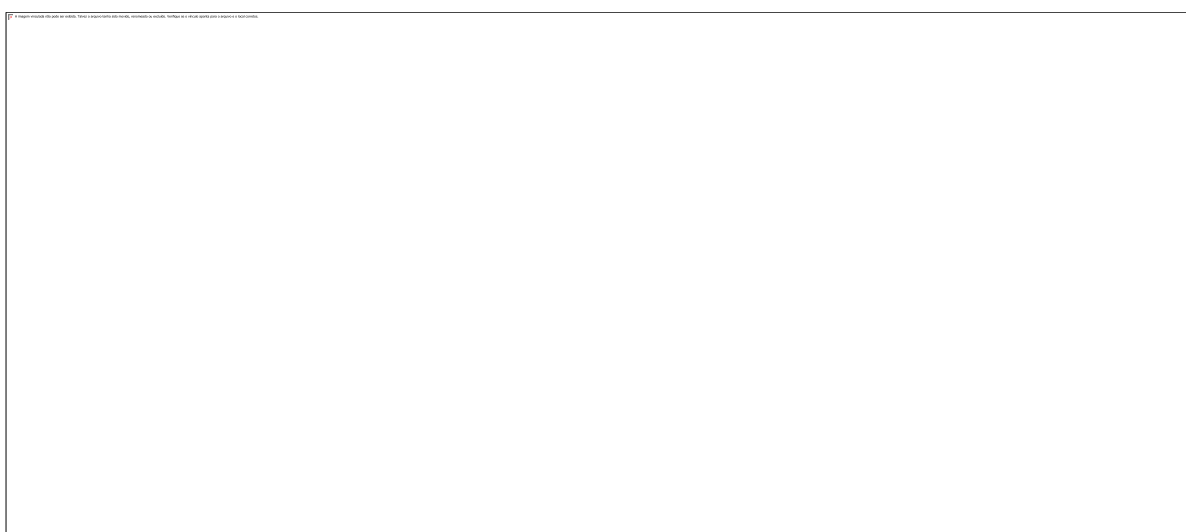


Figura 13 – Comportamento carga-deslocamento axial para carga máxima de +50 kN e -150 kN.

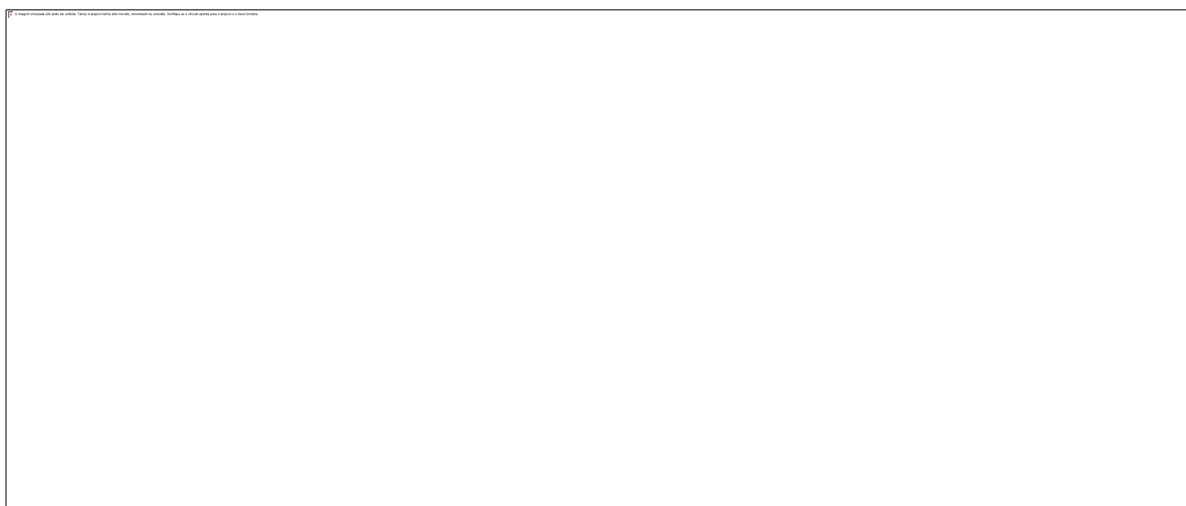


Figura 14 – Deslocamento vertical plástico para carga máxima de 200 kN, início compressão.

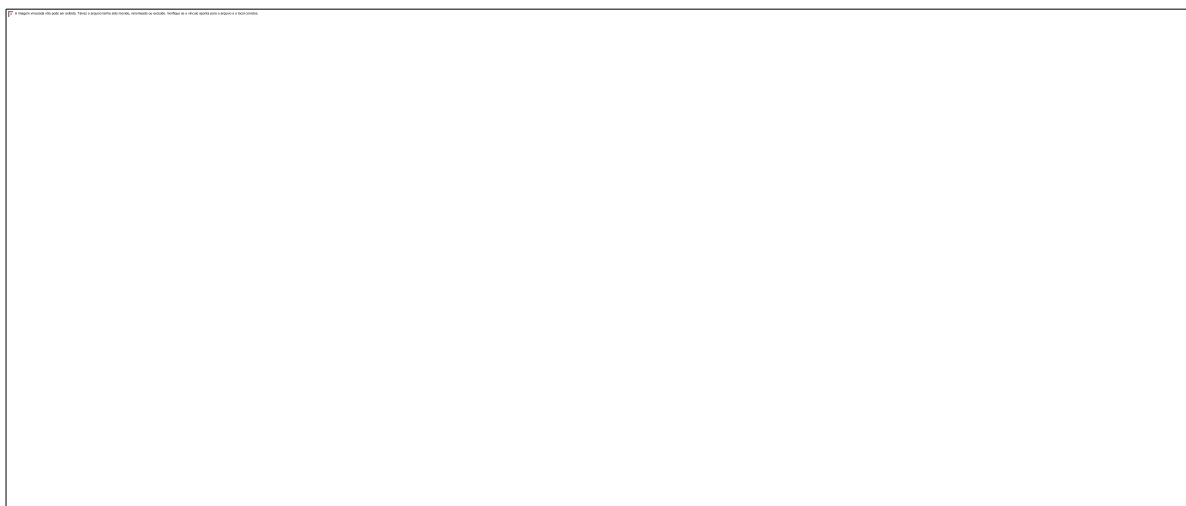


Figura 15 – Deslocamento vertical plástico para carga máxima de 200 kN, início tração.

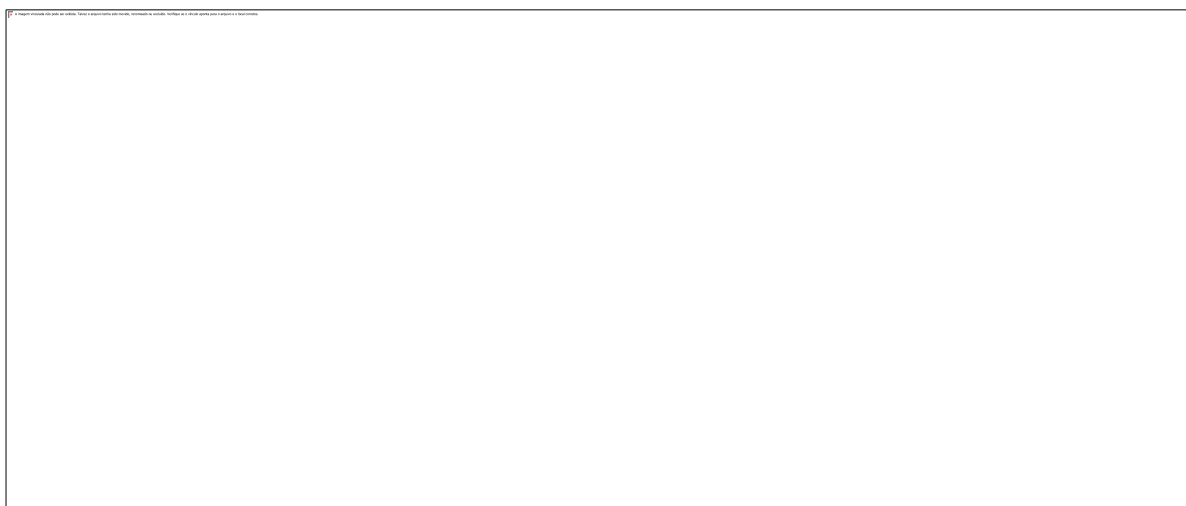


Figura 16 – Deslocamento vertical plástico para carga máxima de 100 kN, início compressão.

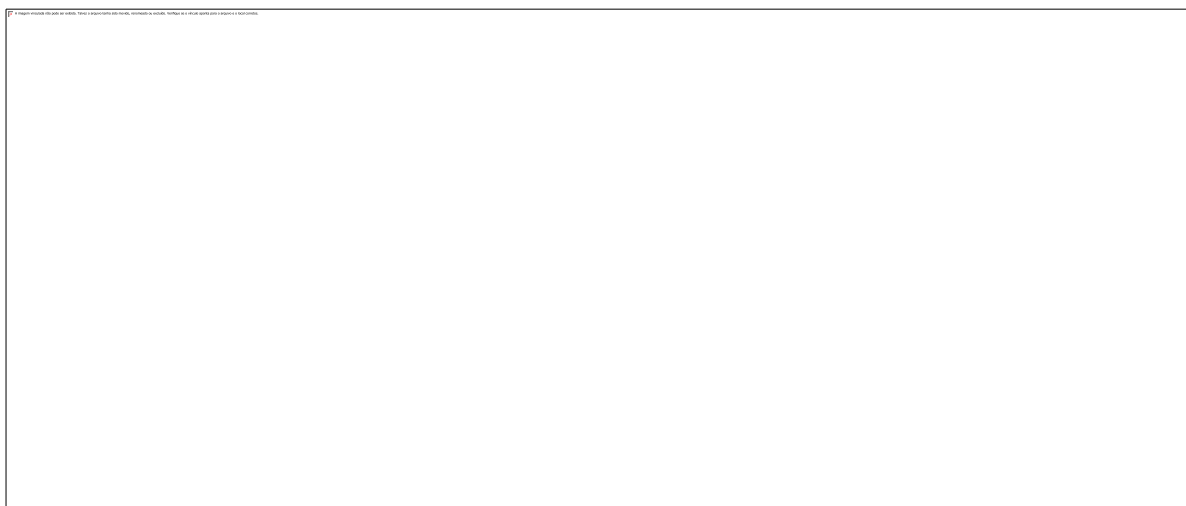


Figura 17 – Deslocamento vertical plástico para carga máxima de 100 kN, início tração.

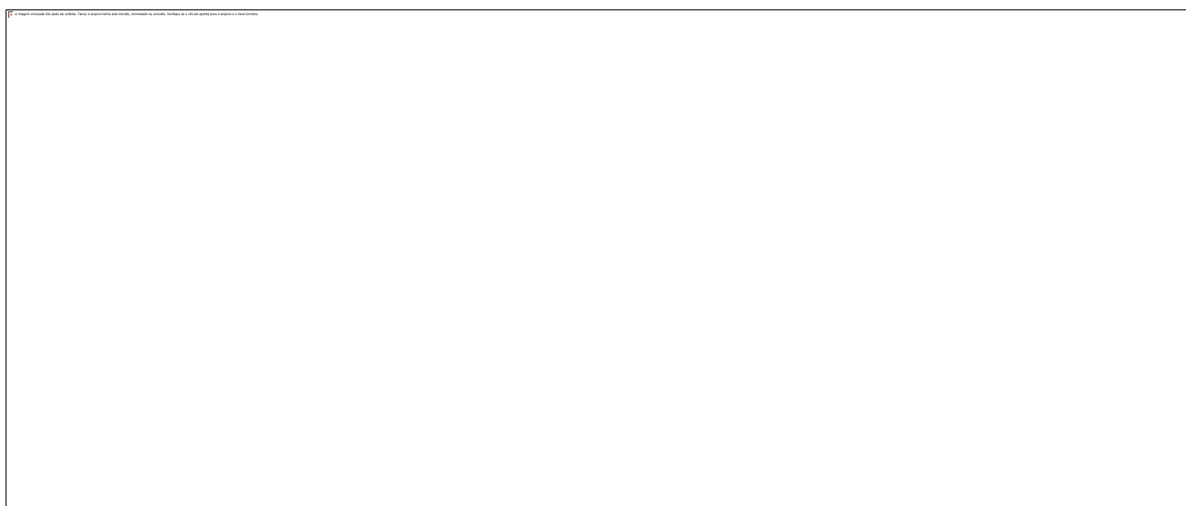


Figura 18 – Deslocamento vertical plástico para carga máxima de 50 kN, início compressão.

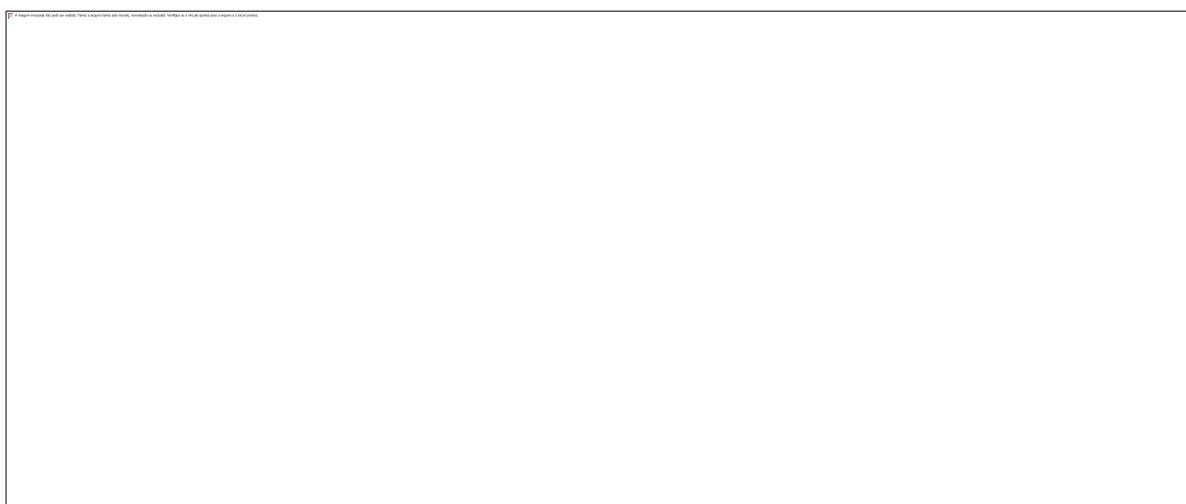


Figura 19 – Deslocamento vertical plástico para carga máxima de 50 kN, início tração.

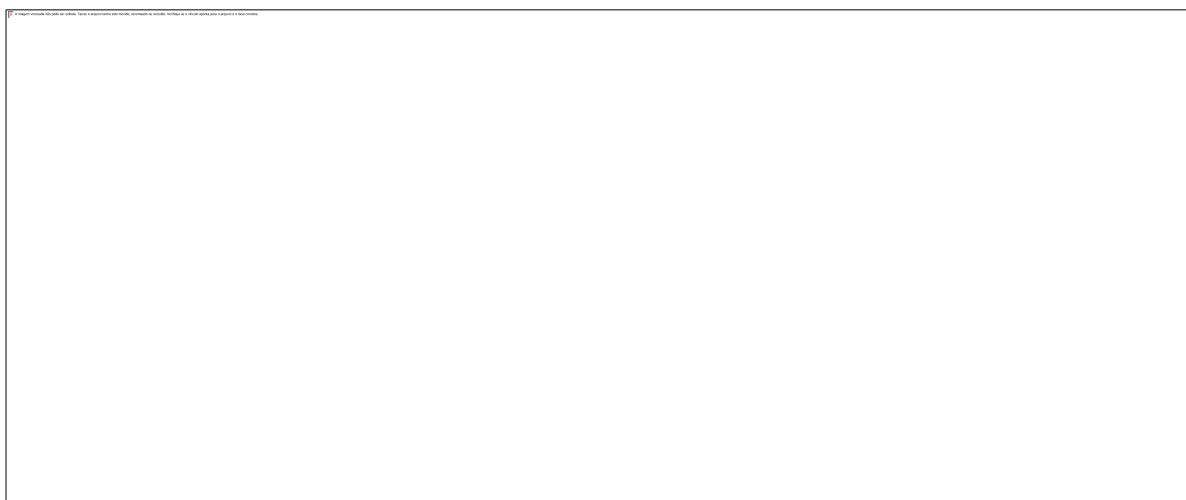


Figura 20 – Deslocamento vertical plástico para carga máxima de +150 kN e -50 kN.

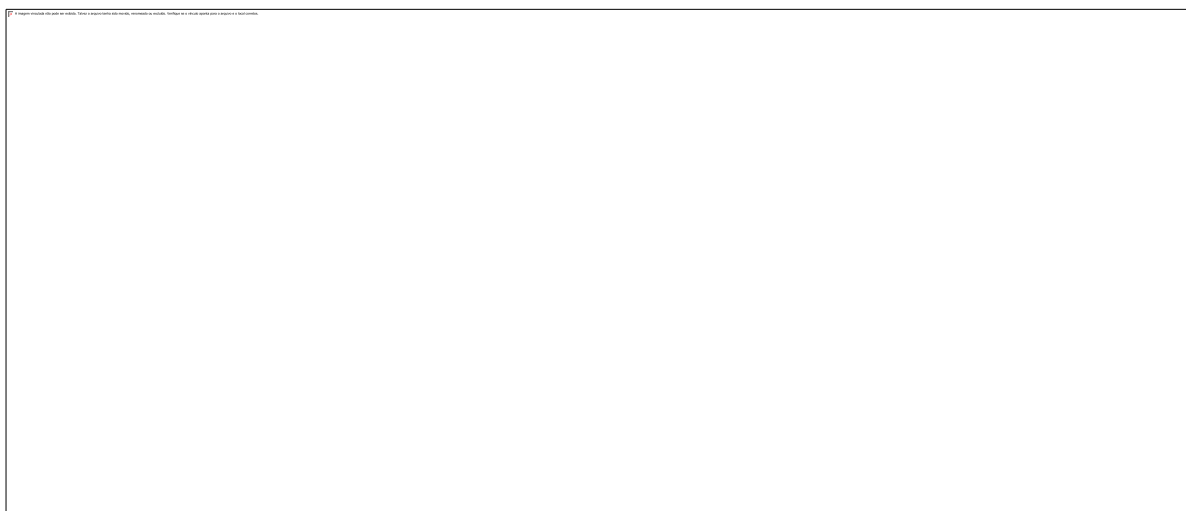


Figura 21 – Deslocamento vertical plástico para carga máxima de -150 kN e +50 kN.

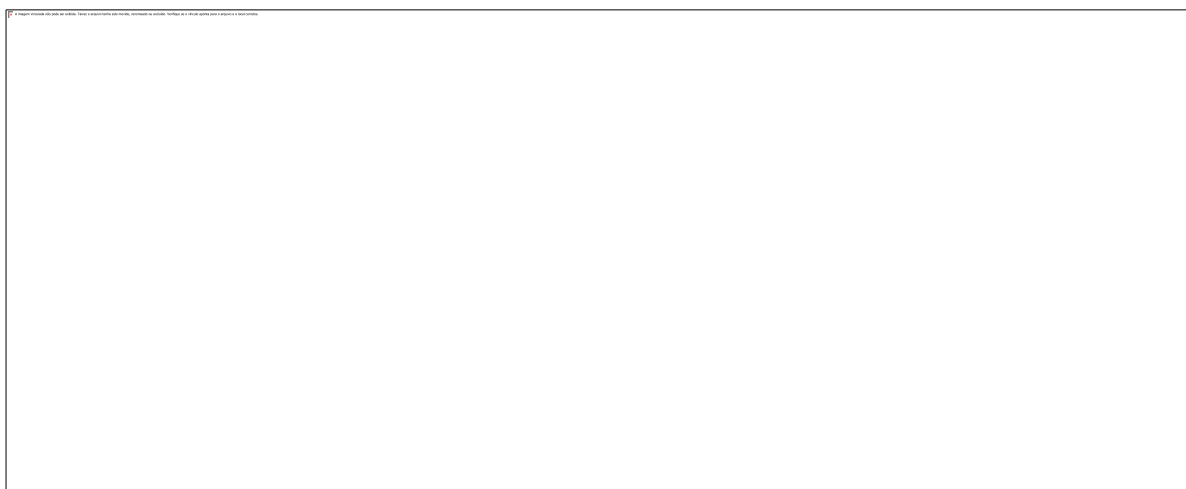


Figura 22 – Deslocamento vertical plástico para carga máxima de +50 kN e -150 kN.

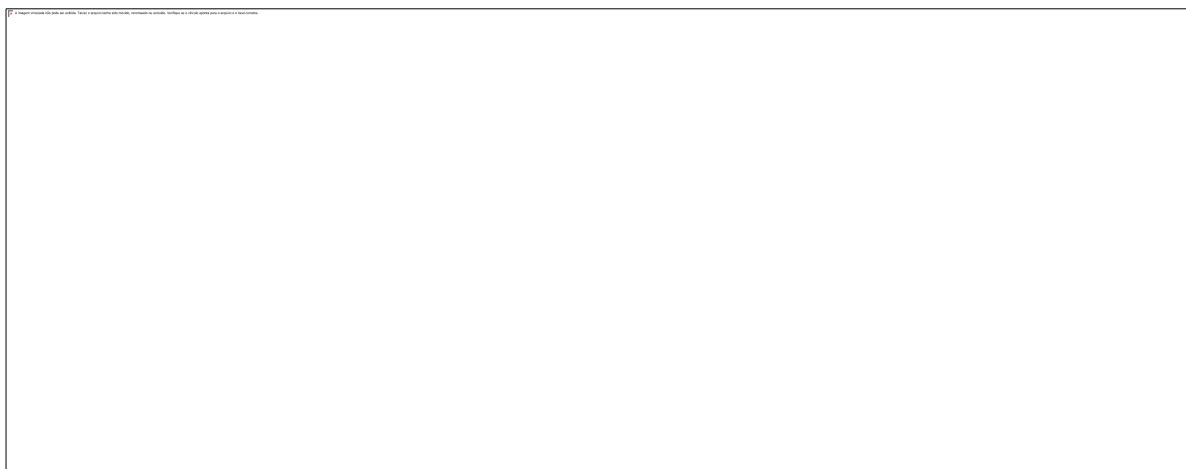


Figura 23 – Deslocamento vertical plástico para carga máxima de -50 kN e +150 kN.

CÓDIGO: ET0508

AUTOR: MATHEUS FLORIANO GONCALVES

COAUTOR: THALITA QUEIROZ E SILVA

COAUTOR: ANDERSON COSTA MARQUES

ORIENTADOR: MEYSAM MASHHADIKARIMI

TÍTULO: COMPÓSITOS COM MATRIZ METÁLICA DE COBRE REFORÇADA
COM DIFERENTES CARBETOS (WC E (TaWNbTiV)C) PRODUZIDOS POR
MOAGEM DE ALTA ENERGIA

Resumo

Estudos apontam que os carbeto de alta entropia (CAE) exibem boas características de dureza e resistência a fraturas, indicando sua viabilidade como fase de reforço em matrizes metálicas. Diante dessa possibilidade, o presente trabalho investigou a influência de dois diferentes tipos de reforços, o carbeto de tungstênio (WC) e o CAE (TaWNbTiV)C, em compósitos com matriz metálica de cobre. Além disso, comparou-se como essas diferentes composições afetaram a morfologia, a estrutura cristalina e as propriedades de dureza dos compósitos Cu-10%WC e Cu-10%(TaWNbTiV)C, moídos por 10 horas. Os compósitos foram produzidos pela rota de metalurgia do pó. A caracterização ocorreu por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia eletrônica de varredura (EDS), difração de Raios-X (DRX) e microdureza Vickers. A microscopia revelou que as partículas de cobre sofreram intensa deformação plástica, enquanto as fases de reforço (WC e (TaWTiVNb)-C) foram incorporadas à matriz, indicando a eficiência do processo de moagem na formação dos pós compósitos. A difração de raios X mostrou que a amostra Cu-10%WC apresentou picos mais intensos da fase de reforço em comparação ao CAE presente na amostra Cu-10%(TaWTiVNb)-C. Nos ensaios de microdureza, a amostra Cu-10%WC apresentou o valor médio de 157,45 HV, enquanto a amostra Cu-10%(TaWNbTiV)C apresentou uma microdureza média inferior, com 99,65 HV. Ambas as amostras alcançaram propriedades mecânicas superiores ao cobre puro.

Palavras-chave: Compósitos de cobre; Carbeto de alta entropia; Endurecimento do cobre

TITLE: Copper Matrix Composites Reinforced with Different Carbides (WC and (TaWNbTiV)C) Produced by High-Energy Milling

Abstract

Studies indicate that high-entropy carbides (HECs) exhibit favorable hardness and fracture resistance, suggesting their viability as reinforcement phases in metallic matrices. In light of this possibility, the present work investigated the influence of two different types of reinforcements, tungsten carbide (WC) and HEC (TaWNbTiV)C, in copper matrix composites. Furthermore, it compared how these different compositions affected the morphology, crystalline structure, and hardness properties of the Cu-10%WC and Cu-10%(TaWNbTiV)C composites, milled for 10 hours. The composites were produced through the powder metallurgy route. Characterization was carried out by scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive spectroscopy (EDS), X-ray diffraction (XRD), and Vickers microhardness testing. Microscopy revealed that the copper particles underwent intense plastic deformation, while the reinforcement phases (WC and (TaWTiVNb)-C) were incorporated into the matrix, indicating the efficiency of the milling process in forming the composite powders. X-ray diffraction showed that the Cu-10%WC sample exhibited more intense reinforcement phase peaks compared to the HEC present in the Cu-10%(TaWTiVNb)-C sample. In the microhardness tests, the Cu-10%WC sample presented an average value of 157.45 HV, while the Cu-10%(TaWNbTiV)C sample showed a lower average microhardness of 99.65 HV. Both samples achieved superior mechanical properties compared to pure copper.

Keywords: Copper composites; High-entropy carbide; Copper hardening

Introdução

O cobre é um metal dúctil e maleável, com baixa resistividade elétrica, alta resistência a corrosão e alta resistência a oxidação [1,2]. Devido a suas excelentes propriedades elétricas, o cobre e suas ligas são utilizados em diversas aplicações técnicas, como em materiais de contatos elétricos, estruturas de condutores de circuitos integrados e eletrodos de soldagem por resistência [3]. Porém, em temperatura ambiente, o cobre e suas ligas apresentam uma resistência mecânica e dureza reduzidas, devido ao seu módulo de elasticidade baixo (145 GPa), aumentando seu percentual de desgaste e inviabilizando diversas aplicações [1-3]. Além disso, diante do aumento de temperatura, a resistência mecânica do cobre também diminui [1,3]. Diante disto, muitos pesquisadores tem buscado desenvolver compósitos de matriz metálica (CMM) baseados em cobre, visando desta forma obter um novo compósito que conserve as excelentes propriedades elétricas, mas que possua propriedades mecânicas superiores [3,4]. Para tal, busca-se empregar uma fase de reforço, composta por um compósito [1] ou liga metálica.

Observa-se recentemente um aumento nos trabalhos que investigam o uso das ligas de alta entropia (LAEs) como a fase de reforço nas matrizes de cobre [2,4-8]. Essa tendência é justificativa pelos pesquisadores em face às ótimas características das LAEs, tais como: excelente resistência ao desgaste; estabilidade em altas temperaturas; alta resistência; alta tenacidade; resistência à corrosão superior e diminuição das reações interfaciais. Tais características são desejáveis num reforço e tornam as LAEs um reforço possivelmente mais vantajoso que as partículas cerâmicas [3,4]. Mane e colaboradores 2023 [4] evidenciou que a liga de alta entropia FeCoNiMnCr (amostra com 10% de reforço) promoveu um aumento na microdureza e na resistência à desgaste

do compósito em 40% e 60%, respectivamente, em relação ao cobre puro. Já o trabalho de Soundararajan e colaboradores 2023 [2] por sua vez destacou que a LAE AlCoCrCuFe gerou uma diminuição no desgaste da superfície Cu-LAE, reduzindo drasticamente a gravidade dos danos à superfície que geralmente ocorrem durante os testes de desgaste por deslizamento. Nam e colaboradores 2018 [9] produziu ligas de alta entropia $\text{Al}_{0.15}\text{CoCrCuFeNiTi}_x\text{-C}$ ($x = 0, 1, 2$) via rotas de metalurgia, e investigou suas evoluções microestruturais e propriedades mecânicas em função do teor de Ti no compósito. Seu artigo, porém, ressaltou a formação de carbetos durante a produção das ligas (carbetos de cromo e carbetos de titânio), destacando que esses carbetos podem ajudar no aumento da resistência e da estabilidade térmica das ligas, citando outros estudos onde os carbetos promoveram aumento da resistência ao desgaste de ligas baseadas em Ferro. Sedegov e colaboradores 2019 [10] evidenciou que, assim como as ligas, os carbetos de alta entropia também exibem boas características de dureza e resistência a fraturas. Isso pode indicar a viabilidade da aplicação de carbetos de alta entropia como fase de reforço em matrizes metálicas.

Diante dessa possibilidade, o presente trabalho propõe como objetivo principal investigar a influência do teor de dois diferentes tipos de reforços, WC (compósito cerâmico) e o carbeto de alta entropia (TaWNbTiV)C, em compósitos com matriz metálica de cobre. Além disso, busca-se comparar como essas diferentes composições afetam a morfologia, a estrutura cristalina e as propriedades de dureza dos compósitos Cu-10%WC e Cu-10%(TaWNbTiV)C, moídos por 10 horas. Espera-se, com isso, obter materiais com propriedades superiores às dos elementos individuais.

Metodologia

Os pós iniciais usados nesse trabalho foram: cobre (Cu, 99.60 % de pureza, 51 μm , ALPHATEC), o carbeto de tungstênio (WC, 99% de pureza, 2.5 μm , DURIT BRASIL) e o carbeto de alta entropia (TaWTiVNb)-C (produzido no Laboratório de Materiais Cerâmicos e Metais Especiais da UFRN). Os percentuais de pureza dos pós elementares utilizados no carbeto de alta entropia, como também suas respectivas proveniências, estão elencados na tabela da Figura 1.

No Laboratório de Materiais Cerâmicos e Metais Especiais (LMCME) da UFRN, os pós foram submetidos à moagem de esferas de alta energia, num moinho planetário da marca FRITSCH do modelo Pulveresette 7, por 10 horas. As esferas utilizadas no cadinho foram de WC-Co, com tamanhos variados (5 mm e 10 mm de diâmetro). A moagem realizada foi em meio úmido, com o solvente Álcool Etílico Absoluto (da marca Synth - com 99.5% de Teor por volume). Os pós moídos foram submetidos a caracterização por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia eletrônica de varredura (EDS), difração de Raios-X (DRX) e microdureza Vickers.

Resultados e Discussões

Evolução Morfológica

A influência da fase de reforço e da moagem de alta energia nas características morfológicas dos compósitos foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Na amostra Cu-10%WC moída por 10 horas (Figura 3), observa-se que as

regiões mais escuras correspondem à matriz de cobre, enquanto as mais claras representam a fase de reforço WC. Verifica-se o achatamento e a compactação das partículas após a moagem, bem como a incorporação do reforço na matriz. Esse efeito é consistente com estudos anteriores, que indicam que a moagem de alta energia promove deformação plástica intensa, soldagem a frio e posterior fratura das partículas, resultando em morfologias mais densas e maior homogeneidade entre matriz e reforço [1]. Por sua vez, as micrografias da amostra Cu-10%(TaWTiVNb)-C (Figura 4), nas quais as regiões mais claras correspondem à fase de reforço CAE e as mais escuras à matriz de cobre, evidenciam o achatamento e a compactação das partículas, além da incorporação do reforço na matriz. A principal diferença em relação ao compósito Cu-10%WC foi o maior empilhamento de partículas observado nesta amostra. Resultado semelhante foi descrito por Laurent-Brocq et al. (2019) [11], que investigaram a microestrutura e as propriedades mecânicas da liga de alta entropia CoCrFeMnNi processada por moagem e sinterização por plasma (SPS). Os autores destacaram que a metalurgia do pó é uma rota promissora para a produção de ligas de alta entropia com propriedades mecânicas aprimoradas, sendo possível obter pós micrométricos, aproximadamente esféricos e com cristalitos nanométricos a partir de uma criomoagem seguida de moagem planetária de curta duração. No presente estudo, partículas menores da fase de reforço (Figura 4b) também apresentaram morfologia aproximadamente esférica. Já as partículas achatadas e empilhadas foram mais semelhantes às reportadas por Khanchandani et al. (2016) [12] em ligas de alta entropia AlMgFeCuCrNi(4.75) moídas por 20 horas. Nesse trabalho, os autores investigaram o efeito da sinterização na evolução de fase de ligas processadas por moagem mecânica em moinho planetário de alta energia, verificando que o tamanho de cristalito diminui com o aumento do tempo de moagem. Embora a amostra descrita por Khanchandani et al. (2016) tenha sido processada por 20 horas, os resultados obtidos neste estudo sugerem que o tamanho das partículas de reforço atingiu dimensões menores mesmo após apenas 10 horas de moagem. Vale destacar que, nas análises morfológicas por MEV, não foi observada segregação dos elementos constituintes da fase de carbetos de alta entropia. Alcalá et al. (2018) [13] investigaram os efeitos do tempo de moagem, da temperatura de sinterização e do teor de Al sobre a natureza química, microdureza e microestrutura da liga de alta entropia FeCoNiCrMn sintetizada por via mecanoquímica. Após a sinterização, etapa que não foi realizada no presente estudo, as análises por MEV revelaram que a segregação inicial da liga estava diretamente relacionada às diferenças nas temperaturas de fusão dos elementos, sendo classificados em três grupos principais, o Cr, Fe-Co-Ni e Mn. Considerando esse comportamento, em trabalhos futuros deve-se avaliar se as diferentes composições do CAE podem igualmente favorecer uma segregação inicial das fases, especialmente quando submetidas a tratamentos térmicos ou sinterização. A análise por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) confirmou a inserção do reforço na matriz (Figura 5.a para Cu-10%WC e Figura 5.b para o Cu-10%(TaWTiVNb)-C). Em ambas as amostras as fases de reforços estão distribuídas na matriz, mas a amostra com CAE apresentou uma dispersão mais homogênea, sem evidências de grandes aglomerados de elementos específicos. Esse comportamento contrasta com os resultados de Wei et al. (2021) [14], que, ao estudar um compósito eutético de alta entropia reforçado por carbetos produzido por fusão a arco, observaram segregação de elementos em regiões distintas após a sinterização. Essa diferença sugere que, nas condições processuais utilizadas neste trabalho, a dispersão foi mais eficiente, possivelmente devido à maior solubilidade parcial dos elementos refratários na matriz de cobre durante a moagem. Além disso, Alcalá et al. (2018) [13] reportaram que a

segregação em ligas de alta entropia pode estar diretamente associada às diferenças entre as temperaturas de fusão dos elementos constituintes, formando grupos com diferentes estabilidades. Nesse sentido, embora não tenha sido identificada segregação no presente estudo, deve-se considerar que composições alternativas de CAE, além do processo de sinterização, podem promover este fenômeno, sendo relevante explorá-lo em investigações futuras.

Evolução da estrutura cristalina

A evolução da estrutura cristalina em ambas as amostras foi constatada por meio da difração de Raios-X (DRX). A amostra Cu-10%WC apresentou picos da fase de reforço mais significativos do que a amostra de Cu-10%(TaWTiVNb)-C. Porém isso não indica que a amostra com carbeto de tungstênio apresentou uma maior incorporação da fase de reforço na matriz de cobre. As posições dos picos de intensidade do WC foram congruentes com as obtidas por Silva et al. (2025) [1], indicando que a fase de reforço WC foi identificada corretamente na Fig.6.a. No presente estudo, como foi utilizado somente uma proporção para a fase de reforço, não foi possível observar se os picos se tornariam mais preponderantes em função do aumento do seu teor de ambas as fases de reforço nas amostras. Semelhantemente, a identificação dos picos da fase do CAE foi congruente com os resultados observados por Marques (2024) [16] para o (TaWTiVNb)-C. Ao se comparar com a literatura, observa-se que, apesar das diferentes composições, a proporcionalidade do pico da intensidade da liga de alta entropia CoCrFeMnNi quando comparado ao pico do elemento da matriz (no caso, Al), foi similar aos padrões observados no presente estudo (Fig.6.b) [3], com os picos da matriz sendo bem superiores. Todavia, o compósito CoCrFeMnNi apresentou um pico singular na medição, enquanto que o (TaWTiVNb)-C do presente estudo apresentou múltiplos picos, com um tamanho inferior, dispersos ao longo do eixo $2\theta(^{\circ})$.

Microdureza (Vickers)

Ambas as amostras submetidas aos testes de microdureza, as quais obtiveram resultados superiores à do cobre puro, estimada em aproximadamente 58,7 HV [5]. A amostra Cu-10%WC apresentou uma microdureza média de 157,45 HV (Figura 7), quase três vezes superior a dureza do cobre puro. A amostra Cu-10%(TaWTiVNb)-C, por sua vez, apresentou uma microdureza média de 99,65 HV (Figura 7), inferior à obtida com a fase de reforço WC, porém compatível com valores relatados na literatura. Liu et al. (2021) [5] também reforçou uma matriz de cobre com uma porcentagem de 10% de uma liga de alta entropia AlCoCrFeNi, alcançando uma dureza média entre as amostras produzidas de 107,3 HV. Mane e colaboradores (2023) [4] também constataram que seu compósito Cu-10%LAE, utilizando a liga de alta entropia FeCoNiMnCr, alcançou uma microdureza média de 71,1 HV, também superior a medida do cobre puro no artigo, que teve um valor médio de 49,2 HV. Valores mais significativos de aumento da microdureza foram alcançados por Chen e colaboradores (2023) [6], onde seu compósito de matriz metálica de cobre reforçado com a LAE TiZrNbTa (TZNT), em 50% da composição (Cu-50%LAE), apresentou um valor 340% maior que a da matriz de cobre, com uma média de 282 HV. Todavia, evidenciou-se que esse aumento na porcentagem de fase de reforço levou a perdas na condutividade elétrica da amostra, diminuindo de 90 %IACS, quando não há fase de reforço, para 22 %IACS. A amostra produzida por eles com 10%LAE também teve um valor médio de microdureza próximo ao obtida nesse estudo, com 125 HV. É possível que resultados superiores de microdureza sejam alcançados por meio da sinterização em estudos futuros. Zhang et al. (2022) [17] desenvolveram uma liga de alta entropia superleve AlCuFeMnTiV por mistura mecânica e sinterização por plasma de faísca (SPS), avaliando os efeitos do

tempo de moagem e da temperatura de sinterização na microestrutura e nas propriedades mecânicas. Os autores observaram que, à medida que a temperatura de sinterização aumentou, a dureza e a resistência da liga também aumentaram, até atingir um ponto em que propriedades adicionais foram reduzidas, indicando um limite ótimo para a temperatura de sinterização. Toroghinejad et al. (2022) [18] produziram a liga FeCrCoNiCu por moagem mecânica e SPS, obtendo um compósito com dureza de 230 HV. Shkodich et al. (2020) [19] demonstraram que a sinterização pode compensar um tempo de moagem mais curto, após 30 minutos de moagem de esferas de alta energia, a consolidação por SPS produziu pó equiatômico CuCrFeTiNi com dureza de 7,7 GPa (≈ 785 HV). Castle et al. (2018) [20] também produziram carbetos de alta entropia (Hf-Ta-Zr-Ti)C via moagem e SPS, obtendo dureza de 36,1 GPa (≈ 3681 HV). Esses exemplos indicam que o emprego de técnicas semelhantes pode permitir que compósitos com CAE como fase de reforço alcancem durezas superiores às obtidas com cerâmicas convencionais. Moravcikova-Gouveia et al. (2021) [21] reportaram evolução microestrutural e propriedades mecânicas aprimoradas de um compósito refratário de alta entropia de baixa densidade, $\text{Al}_{0.3}\text{NbTa}_{0.8}\text{Ti}_{1.5}\text{V}_{0.2}\text{Zr}$, produzido por moagem e SPS. Diante disso, conclui-se que 10 horas de moagem foram suficientes para obter microestrutura homogênea, alta dureza média (641,8 HV) e mínima contaminação, sugerindo que o tempo de moagem utilizado neste estudo é adequado para produzir compósitos de alta entropia com elevada dureza. Torralba et al. (2020) [22] destacaram que os compósitos de alta entropia representam uma nova classe de materiais emergentes, sendo a metalurgia do pó uma rota confiável para produzir carbetos e compósitos densos com propriedades mecânicas melhoradas [22–30]. Pasini et al. (2021) [31] ressaltaram que o conceito de compósitos de alta entropia tem ampliado os limites da metalurgia, inspirando o desenvolvimento de materiais inovadores, produzindo assim avanços não somente no seu estudo em si, mas em toda a engenharia de matérias.

Conclusão

As conclusões mais relevantes desse estudo foram:

- A moagem de alta energia mostrou-se uma técnica viável para a obtenção dos compósitos Cu-10%WC e Cu-10%(TaWTiVNb)-C.
- A microscopia revelou que as partículas de cobre sofreram intensa deformação plástica, enquanto as fases de reforço (WC e (TaWTiVNb)-C) foram incorporadas à matriz. Observou-se que o carbeto de alta entropia apresentou melhor distribuição e empilhamento, indicando a eficiência do processo de moagem na formação dos pós compósitos.
- A análise por EDS confirmou a dispersão das partículas de reforço na matriz de cobre, sendo mais homogênea na amostra Cu-10%(TaWTiVNb)-C.
- A difração de raios X mostrou que a amostra Cu-10%WC apresentou picos mais intensos da fase de reforço em comparação ao carbeto de alta entropia presente na amostra Cu-10%(TaWTiVNb)-C.
- Nos ensaios de microdureza, a amostra Cu-10%WC apresentou o maior valor médio (157,45 HV), aproximadamente três vezes superior ao do cobre puro. Apesar disso, a literatura indica que técnicas adicionais, como a sinterização, podem potencializar as propriedades dos compósitos reforçados com carbetos de alta entropia, possibilitando valores ainda mais elevados de dureza.

Referências

- [1]- SILVA et al. Modulating the microstructural and mechanical characteristics of copper-tungsten carbide composite powders by WC content and milling time. *Materials Today Communications*, [S.L.], v. 42, p. 111321, jan. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.111321> [2]- Soundararajan et al. Investigating the tribological characteristics of copper surface composites reinforced with high entropy alloy (AlCoCrCuFe) through friction stir processing. *Sci Rep* 13, 22652 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49557-5> [3]- KUMAR et al. A review on microstructures, mechanical properties and processing of high entropy alloys reinforced composite materials. *Journal Of Alloys And Compounds*, [S.L.], v. 972, p. 172732, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.172732> [4]- Mane et al. Effect of FeCoNiMnCr High-Entropy Alloy Reinforcement on Mechanical, Wear, and Thermal Expansion Behavior of Copper Matrix Composites. *JOM* 75, 4421–4434 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11837-023-06066-0> [5]- LIU et al. AlCoCrFeNi high entropy alloy reinforced Cu-based composite with high strength and ductility after hot extrusion. *Vacuum*, [S.L.], v. 184, p. 109882, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109882> [6]- CHEN et al. Novel strength-electrical conductivity synergy in Cu-based composites reinforced with TiZrNbTa high entropy alloy. *Materials Science And Engineering: A*, [S.L.], v. 878, p. 145210, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2023.145210> [7]- Chen et al. Fabrication and mechanical properties of AlCoNiCrFe high-entropy alloy particle reinforced Cu matrix composites, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 649, 2015, Pages 630-634, ISSN 0925-8388, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.07.125> [8]- Zhu et al. Microstructure and properties of FeCoNiCrAl high-entropy alloy particle-reinforced Cu-matrix composites prepared via FSP, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 940, 2023, 168906, ISSN 0925-8388, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.168906> [9]- Nam et al. Strengthening of Al_{0.15}CoCrCuFeNiTi_x-C (x = 0, 1, 2) high-entropy alloys by grain refinement and using nanoscale carbides via powder metallurgical route, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 762, 2018, Pages 29-37, ISSN 0925-8388, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.180> [10]- SEDEGOV et al. Synthesis and study of high-entropy ceramics based on the carbides of refractory metals. *Iop Conference Series: Materials Science and Engineering*, [S.L.], v. 558, n. 1, p. 012043, 1 jun. 2019. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/558/1/012043> [11]- Laurent-Brocq et al. Microstructure and mechanical properties of a CoCrFeMnNi high entropy alloy processed by milling and spark plasma sintering, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 780, 2019, Pages 856-865, ISSN 0925-8388, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.11.181> [12]- KHANCHANDANI et al. Effect of sintering on phase evolution in AlMgFeCuCrNi 4.75 high entropy alloy. *Advanced Powder Technology*, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 289-294, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appt.2016.01.001> [13]- Alcalá et al. Effects of milling time, sintering temperature, Al content on the chemical nature, microhardness and microstructure of mechanochemically synthesized FeCoNiCrMn high entropy alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 749, 2018, Pages 834-843, ISSN 0925-8388, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.03.358> [14]- WEI et al. A carbide-reinforced Re_{0.5}MoNbW(TaC)_{0.8} eutectic high-entropy composite with outstanding

compressive properties. *Scripta Materialia*, [S.L.], v. 200, p. 113909, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2021.113909> [15]– Li et al. Microstructures and mechanical properties of nano carbides reinforced CoCrFeMnNi high entropy alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 792, 2019, Pages 170-179, ISSN 0925-8388, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.03.403> [16]– MARQUES. Obtenção do carbeto de alta entropia (TiVTaNbW)C via moagem de alta energia. Orientador: Dr. Meysam Mashhadikarimi. 2024. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024. [17]– ZHANG et al. Preparation and microstructure and properties of AlCuFeMnTiV lightweight high entropy alloy. *Journal Of Alloys And Compounds*, [S.L.], v. 900, p. 163352, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.163352> [18]– TOROGHINEJAD et al. Synthesis of FeCrCoNiCu high entropy alloy through mechanical alloying and spark plasma sintering processes. *Materials Chemistry And Physics*, [S.L.], v. 289, p. 126433, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126433> [19]– Shkodich et al. Structural evolution and magnetic properties of high-entropy CuCrFeTiNi alloys prepared by high-energy ball milling and spark plasma sintering, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 816, 2020, 152611, ISSN 0925-8388, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152611> [20]– Castle et al. Processing and Properties of High-Entropy Ultra-High Temperature Carbides. *Sci Rep* 8, 8609 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26827-1> [21]– MORAVCIKOVA-GOUVEA et al. Tailoring a Refractory High Entropy Alloy by Powder Metallurgy Process Optimization. *Materials*, [S.L.], v. 14, n. 19, p. 5796, 3 out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma14195796> [22]– Torralba et al. Powder metallurgy and high-entropy alloys: Update on new opportunities. *Powder Metallurgy*. 2020;63(4):227-236. doi:10.1080/00325899.2020.1807713 [23]– Harrington et al. Phase stability and mechanical properties of novel high entropy transition metal carbides, *Acta Materialia*, Volume 166, 2019, Pages 271-280, ISSN 1359-6454, <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.12.054> [24]– PÖTSCHKE et al. Production and Properties of High Entropy Carbide Based Hardmetals. *Metals*, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 271, 5 fev. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/met11020271> [25]– PRITIMA et al. Investigations on Silicon Carbide Reinforced High Entropy Alloy (CoCrNiMnFe) matrix Composites Produced by Powder Metallurgy Process. *Silicon*, [S.L.], v. 15, n. 11, p. 4637-4651, 10 mar. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12633-023-02369-8> [26]– Wang et al. Strengthening mechanism in a high-strength carbon-containing powder metallurgical high entropy alloy, *Intermetallics*, Volume 102, 2018, Pages 58-64, ISSN 0966-9795, <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2018.07.016> [27]– HATTORI et al. Metallurgy, superconductivity, and hardness of a new high-entropy alloy superconductor Ti-Hf-Nb-Ta-Re. *Journal Of Alloys And Metallurgical Systems*, [S.L.], v. 3, p. 100020, set. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jalmes.2023.100020> [28]– Chicardi et al. Synthesis of all equiatomic five-transition metals High Entropy Carbides of the IVB (Ti, Zr, Hf) and VB (V, Nb, Ta) groups by a low temperature route, *Ceramics International*, Volume 46, Issue 13, 2020, Pages 21421-21430, ISSN 0272-8842, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.05.240> [29]– Chen et al. Effects of carbon addition on microstructure and mechanical properties of Fe₅₀Mn₃₀Co₁₀Cr₁₀ high-entropy alloy prepared by powder metallurgy, *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 20, 2022, Pages 73-87, ISSN 2238-7854, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.067> [30]– KATIYAR et al. High entropy alloys

(HEAs) as a binder material for heavy tungsten alloys, tungsten carbide hardmetals, and titanium carbo-nitride based cermet composites - a comprehensive review. *Advances In Materials And Processing Technologies*, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 1979-2016, 4 nov. 2022. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/2374068x.2022.2142397> [31]– Pasini et al. Analysis of Carbides in Multi-component Cast Iron Design Based on High Entropy Alloys Concepts. 2021;24(2):e20200398. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2020-0398>

Anexos

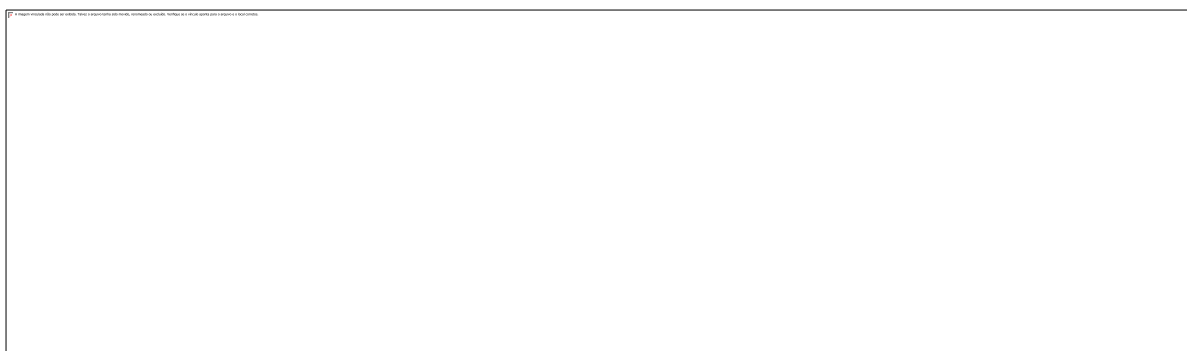


Figura 1: Tabela contendo a pureza e proveniência dos elementos iniciais. Fonte: Autor, 2025.

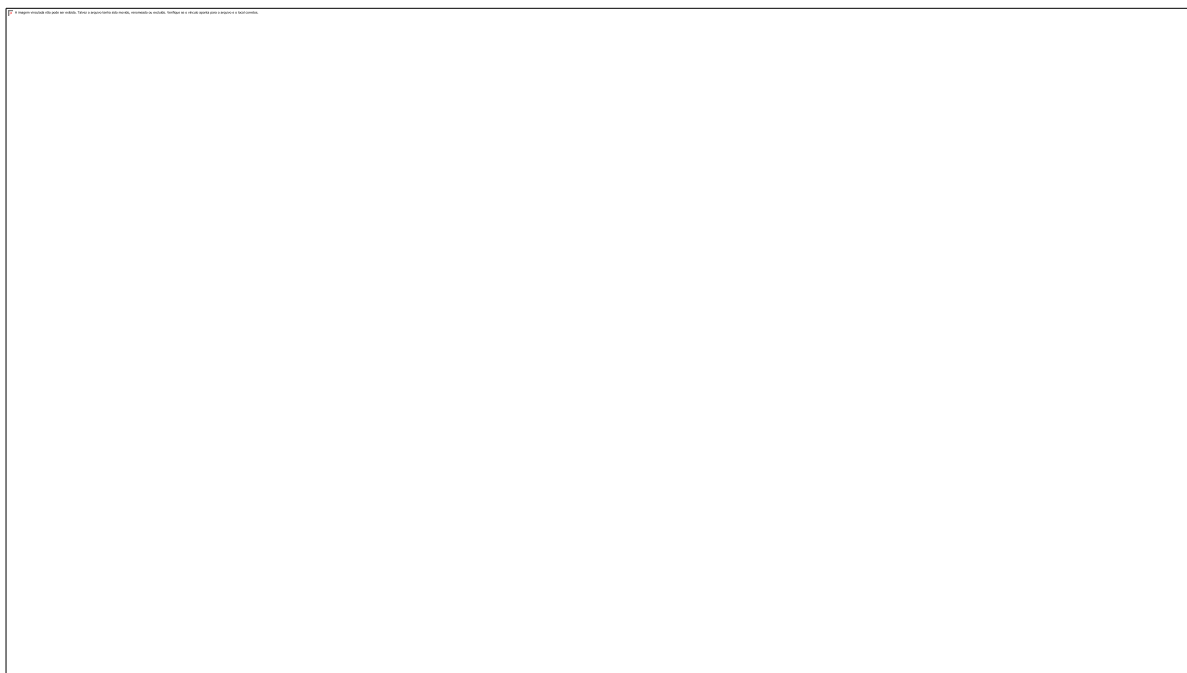


Figura 2: Rota de metalurgia do pó. Fonte: Autor, 2025.

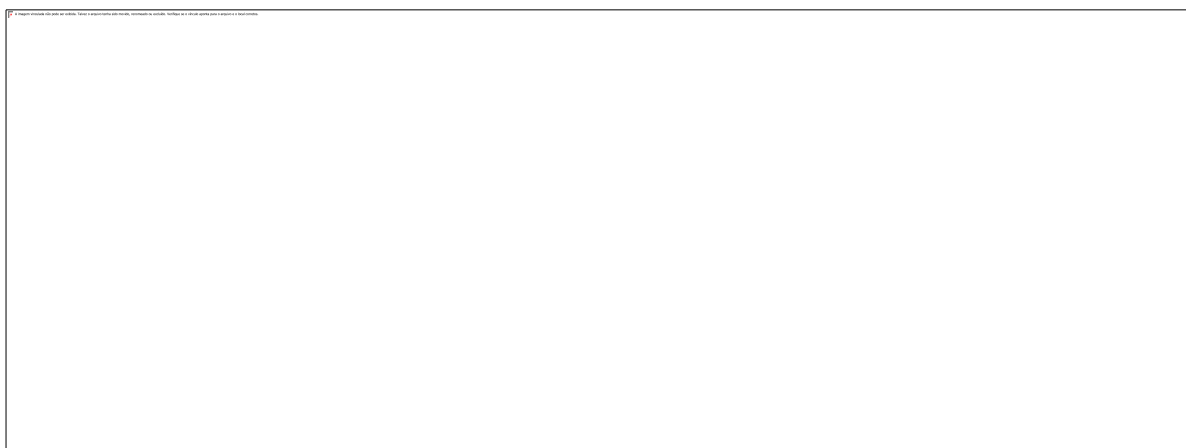


Figura 3: MEV do compósito Cu-10%WC, moído por 10 horas, com zoom de 300X e 2KX. Fonte: Autores, 2025.

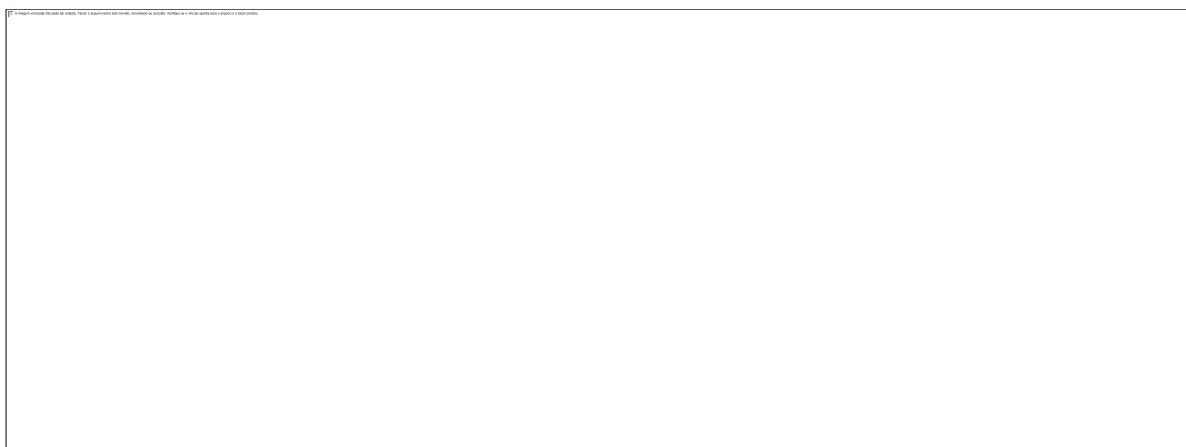


Figura 4: MEV do compósito Cu-10%(TaWTiVNb)-C, moído por 10 horas, com zoom de 500X e 2KX. Fonte: Autores, 2025.

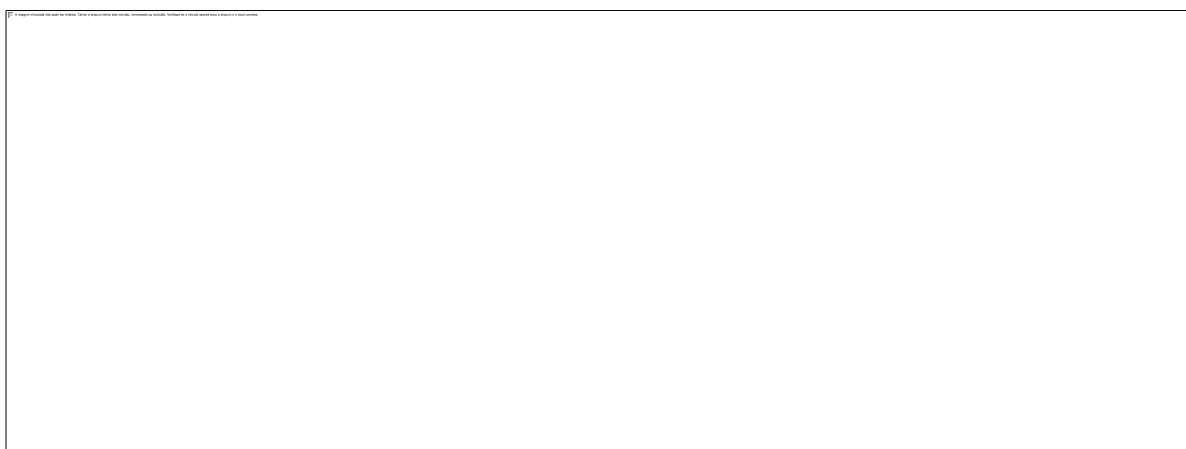


Figura 5: Mapas de EDS dos compósitos Cu-10%WC (a) e Cu-10%(TaWTiVNb)-C (b), moídos por 10 horas. Fonte: Autores, 2025.

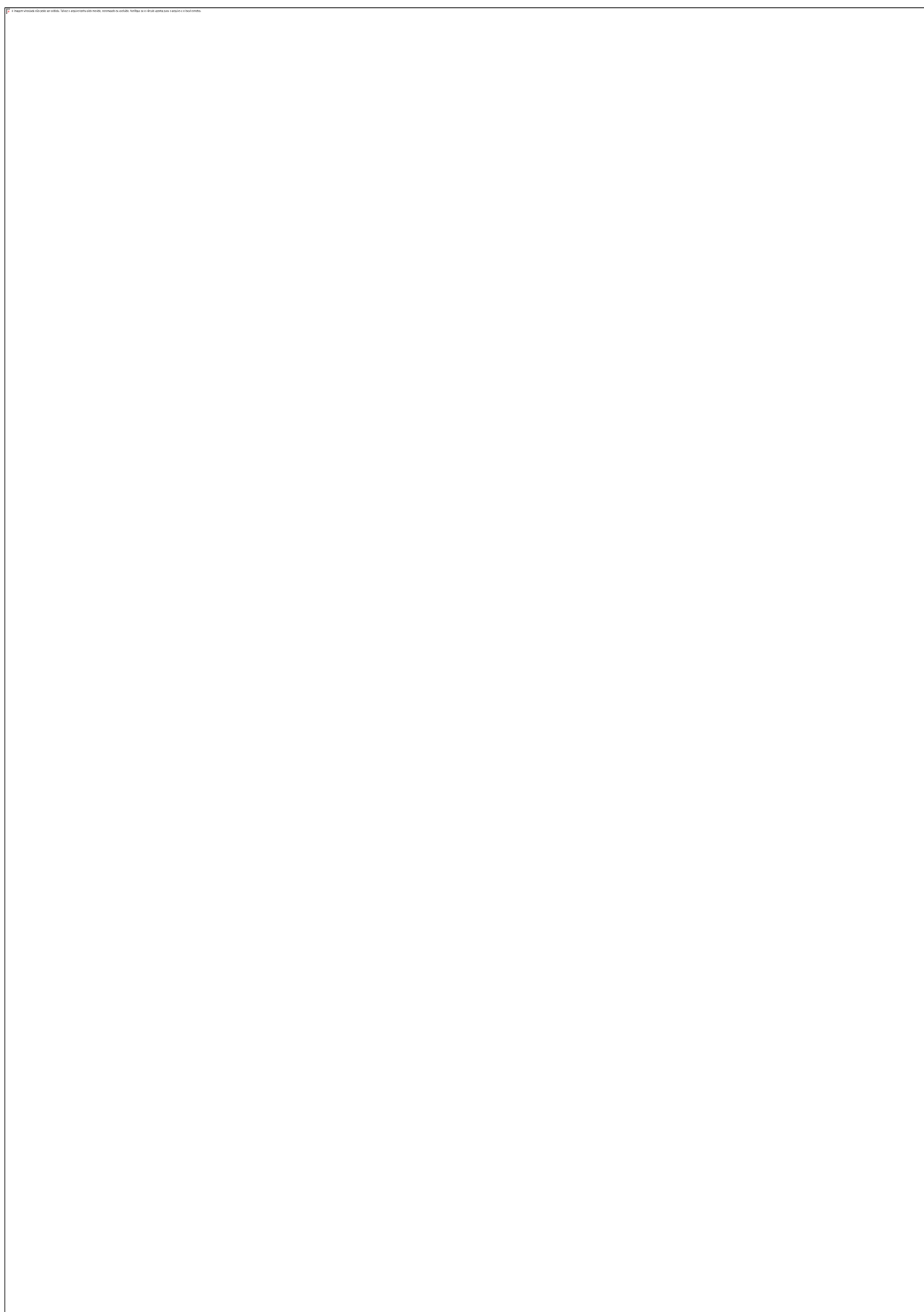


Figura 6: Resultados obtidos via difração de Raios-X das amostras: a) Cu-10%W e b) Cu-10%(TaWTiVNb)-C. Fonte: Autores, 2025.

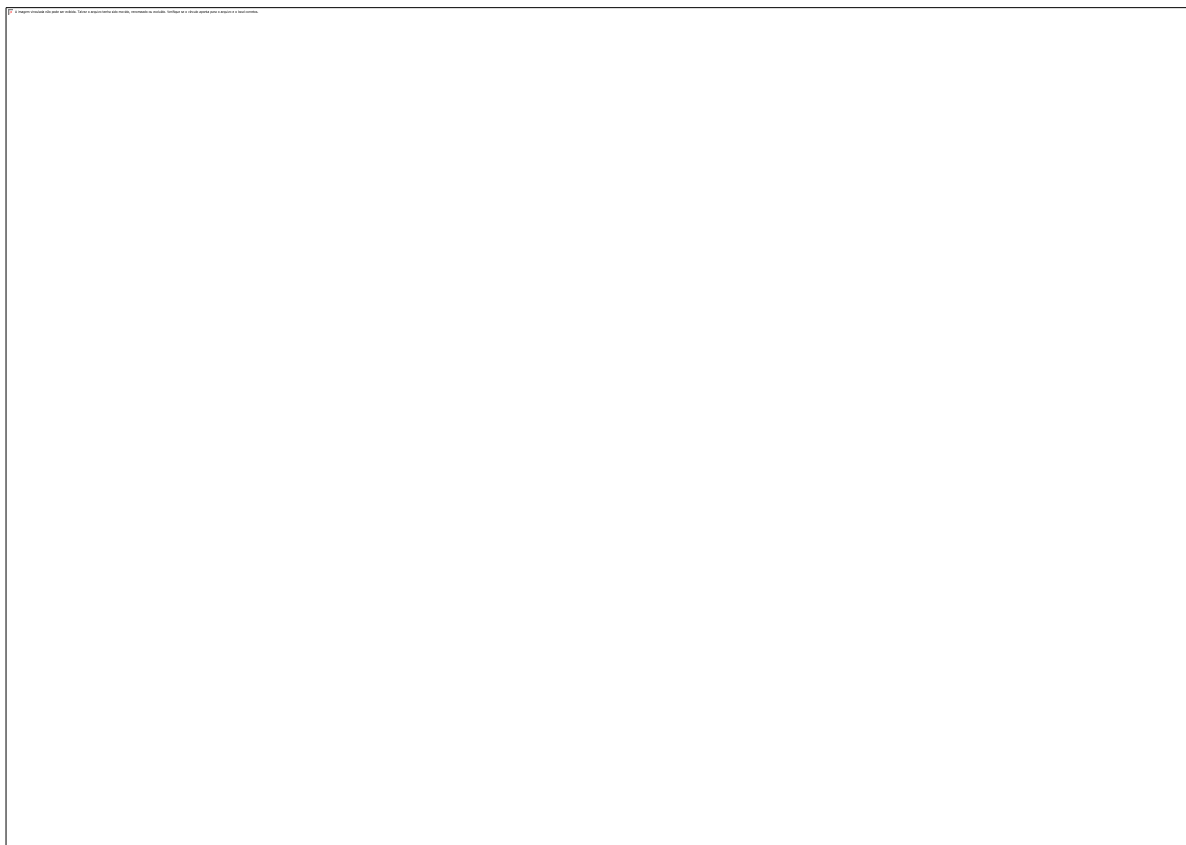


Figura 7: Resultados obtidos de microdureza para ambas as composições. Fonte: Autores, 2025.

CÓDIGO: ET0510

AUTOR: LAYS MENDES DA COSTA

COAUTOR: RONIER ALCÂNTARA OLIVEIRA

ORIENTADOR: FABIANA VILLELA DA MOTTA

TÍTULO: Obtenção da heteroestrutura de $\text{CoTiO}_3/\text{ZnO}$ para tratamento de efluentes por meio da Piezofotocatálise

Resumo

O presente estudo teve como objetivo principal, a obtenção da heteroestrutura de $\text{CoTiO}_3/\text{ZnO}$ pelo método hidrotermal assistido por micro-ondas e estudar suas propriedades catalíticas para remediação ambiental no meio aquoso. Não houve nenhuma formação de fases secundárias ou resquícios de precursores, conforme mostrado no DRX e Raman.

O efeito sinérgico entre os processos de piezocatálise e fotocatalise foi investigado por meio da aplicação simultânea de estímulos luminoso e mecânico durante a degradação do corante orgânico Rodamina B (RhB). Utilizando a heteroestrutura CZ1, foi alcançada uma eficiência de degradação de 93,5% após 120 minutos de tratamento. Também foram realizados estudos sistemáticos para avaliar os parâmetros operacionais que influenciam a eficiência do processo piezo fotocatalítico.

. Além disso, testes de reuso e estabilidade foram conduzidos com a heteroestrutura CZ1 ao longo de quatro ciclos consecutivos de degradação do corante Rodamina B (RhB). Os resultados demonstraram que o material mantém elevada eficiência catalítica e integridade estrutural após os ciclos, indicando boa estabilidade química e potencial para aplicações práticas em tratamentos de efluentes, o que está de acordo com outros estudos que destacam a importância da reutilização como critério-chave na avaliação de materiais fotocatalíticos avançados.

Palavras-chave: Síntese;Fotocatálise;Piezocatálise

TITLE: Obtaining CoTiO₃/ZnO heterostructure for wastewater treatment through Piezophotocatalysis

Abstract

The main objective of this study was to obtain the CoTiO₃/ZnO heterostructure using a microwave-assisted hydrothermal method and to study its catalytic properties for environmental remediation in aqueous media. There was no formation of secondary phases or precursor residues, as demonstrated by XRD and Raman spectroscopy. The synergistic effect between the piezocatalysis and photocatalysis processes was investigated through the simultaneous application of light and mechanical stimuli during the degradation of the organic dye Rhodamine B (RhB). Using the CZ1 heterostructure, a degradation efficiency of 93.5% was achieved after 120 minutes of treatment. Systematic studies were also conducted to evaluate the operational parameters that influence the efficiency of the piezophotocatalytic process. Furthermore, reusability and stability tests were conducted with the CZ1 heterostructure over four consecutive Rhodamine B (RhB) dye degradation cycles. The results demonstrated that the material maintains high catalytic efficiency and structural integrity after cycling, indicating good chemical stability and potential for practical applications in wastewater treatment, which is in line with other studies that highlight the importance of reuse as a key criterion in the evaluation of advanced photocatalytic materials.

Keywords: Synthesis;Photocatalysis;Piezocatalysis

Introdução

A poluição ambiental representa um desafio cada vez mais urgente e complexo que afeta tanto os ecossistemas quanto a saúde humana. Uma fonte comum de poluição é a presença de efluentes industriais contendo substâncias tóxicas e poluentes persistentes[1]. Para lidar com essa questão, os processos oxidativos avançados (POAs) têm se destacado como uma abordagem promissora no tratamento desses efluentes contaminados[2]

A proximidade de fábricas com os cursos d'água favoreceu, ao longo do tempo, o descarte direto de resíduos industriais nos rios, prática que se tornou comum diante da ausência de regulamentações ambientais. Esse cenário exigiu o desenvolvimento de políticas públicas voltadas ao controle e à mitigação dos impactos causados. Diversos poluentes, como substâncias químicas tóxicas, metais pesados, corantes sintéticos e esgoto doméstico, eram lançados sem

qualquer tratamento prévio, comprometendo significativamente a qualidade da água e causando sérios danos à fauna e à flora.

Diversos mecanismos são abordados para tratamento de efluentes, como a fotocatalise heterogênea, que é um dos mais estudados. Nesse mecanismo ocorre a geração de radicais altamente oxidativos capazes de degradar os poluentes no efluente contaminado, transformando-os em moléculas menores, como água e gás carbônico[3,4]. Porém, existem algumas limitações nos materiais fotocatalíticos, como a recombinação dos pares elétrons-buracos que diminui o transporte eletrônico, como também fatores morfológicos, área superficial, baixa condutividade elétrica e fraca resposta à radiação eletromagnética. Para superar essa problemática, pesquisadores propuseram o uso do efeito piezoelétrico para promover a separação dos portadores de carga[5,6]. Materiais piezoelétricos são acoplados para gerar campos elétricos polarizados sob força externa para melhorar o transporte de elétrons livres e buracos, aumentando assim a eficiência de separação dos portadores de carga[7,8]

O ZnO é um dos semicondutores mais eficazes para a degradação de poluentes orgânicos. Possui baixo custo, mineralização rápida, possui piezoelectricidade e intervalo de band gap na faixa do UV (~3,2 eV)[9-12]. Apesar dessas vantagens, a alta recombinação de pares elétrons-buracos é uma limitação. A formação de uma heterojunção é uma alternativa para melhoria das propriedades dos materiais, promovendo o aumento da transferência eletrônica através da interface gerada[13,14]. O CoTiO₃ é um semicondutor promissor para esta função, tendo propriedades eletrônicas relevantes e suficiente para promover melhor transferência de carga[15,16].

Os titanatos de metais, representados pela fórmula geral MTiO₃ (M = Co, Ni, Mn, Fe, Cu, Ca, Cd,), atualmente estão em crescente em diversas rotas de estudo científico, devido à combinação singular de propriedades elétricas, magnéticas e fotoquímicas.

Essa diversidade de características confere a tais materiais elevado potencial de aplicação em diferentes campos tecnológicos, abrangendo desde dispositivos eletrônicos e sensores até processos avançados de fotocatalise e remediação ambiental, consolidando-os como candidatos promissores para o desenvolvimento de soluções funcionais e sustentáveis.

Neste trabalho, a heterojunção CoTiO₃/ZnO foi obtida pelo método hidrotermal assistido por micro-ondas com desempenho aprimorado para degradação do corante Rodamina B (RhB) sob irradiação de luz visível e modulação do campo piezoelétrico. Para adequar as melhores condições para a degradação do corante, foram realizados testes de efeitos de pH, íons inorgânicos e concentração do catalisador. Testes de reuso foram realizados, mostrando a efetividade do material após os ciclos de reusabilidade. Este trabalho mostra a efetividade piezofotocatalítica da heteroestrutura CoTiO₃/ZnO com grande potencial para remediação ambiental.

Metodologia

- Síntese CTO

A síntese do CoTiO_3 foi realizada utilizando o método sol-gel adaptado, conforme a literatura[17]. 20 mmol de ácido cítrico e 5 mmol de isopropóxido de titânio foram diluídos em 50 mL de água destilada sob agitação mecânica e temperatura de 70 °C. Após total dissolução, foi adicionado 5 mmol de nitrato de cobalto na solução e a mistura foi mantida sob agitação durante 4 h para formação do gel. O gel foi seco em estufa a 100 °C por 24 h e calcinado a 800 °C por 3 h

- Síntese CTO/ZNO

5 mmol de acetato de zinco foi diluído em 50 mL sob agitação magnética e temperatura de 50 °C. Após toda dissolução do reagente, certa quantidade do CoTiO_3 foi adicionado à solução e mantido sob agitação. O pH foi ajustado em 10 com hidróxido de amônio e a mistura foi adicionada em autoclave e submetido ao hidrotermal assistido por micro-ondas a 140 °C por 15 min. O precipitado foi lavado e seco a 100 °C por 24 h. Foram adicionados 5%, 10% e 15% de CoTiO_3 em relação ao ZnO e nomeadas de CZ1, CZ2 e CZ3, respectivamente. O esquema de síntese é ilustrado na Fig. 1.

Resultados e Discussões

Uma análise detalhada da estrutura das amostras utilizando difração de raios X (DRX) foi realizada, obtendo resultados que são observados na figura 2, com picos bem definidos, assim confirmando a formação das fases esperadas de $\text{ZnO}/\text{CoTiO}_3$, sem indícios de impurezas ou fases indesejadas que poderiam estar presente na composição final do material de interesse. Com essa análise, confirma-se que o método de síntese foi eficaz, produzindo as heteroestruturas desejadas com alta pureza.

Verificou-se que, embora os parâmetros da rede cristalina tenham se mantido praticamente inalterados, indicando a preservação das características fundamentais dos materiais, o ZnO nas heteroestruturas apresentou um crescimento no tamanho dos cristais e uma redução nas microdeformações. Isso sugere uma melhora na qualidade cristalina, o que pode ser decisivo em aplicações que necessitam de materiais com alta perfeição estrutural. A amostra CZ1 exibiu maior microdeformação, indicando uma concentração mais elevada de defeitos cristalinos, os quais podem impactar significativamente as propriedades ópticas e elétricas do material [18]

Esses defeitos, que surgem principalmente na interface entre o ZnO e o CTO, podem atuar como centros ativos em processos como a fotocatalise, potencializando a eficiência do material em reações químicas induzidas por luz. 2. Morfologia das Partículas

As imagens foram obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV-FEG). Na Fig. 3(a-b) é possível observar que o ZnO mantém seu formato característico de bastões hexagonais, enquanto o CTO se apresenta como aglomerados esféricos.

Nas heteroestruturas, analisadas na Fig. 3(c-e) mostram que ambas as morfologias permaneceram preservadas, indicando que o processo de síntese não interferiu na estrutura principal dos materiais. Além disso, a precipitação do ZnO sobre o CTO não alterou sua orientação preferencial de crescimento, o que é importante para manter a estabilidade e funcionalidade do material. Destaca-se ainda, que as modificações superficiais decorrentes da precipitação do ZnO podem promover a funcionalização das partículas, resultando em um possível aumento da área superficial [19].

A espectroscopia UV-Vis revelou como cada material interage com a luz. A energia de band gap constitui um parâmetro fundamental nos processos fotocatalíticos heterogêneos, uma vez que valores reduzidos de E_g implicam em menor quantidade de energia requerida para a fotoativação do catalisado

Os espectros de absorção UV-Vis e a estimativa do bandgap das heteroestruturas de CTO/ZnO são representadas nas Fig. 4 (a-b). Na Fig. 4a observa-se que o CTO apresenta maior absorção visível. O método de Wood-Tauc foi utilizado para estimativa do bandgap das heteroestruturas [20], como mostrado na Fig. 4b.

Tanto o ZnO quanto as heteroestruturas apresentam baixa absorção na região do visível, concentrando-se predominantemente na faixa do ultravioleta. Os valores de band gap das heteroestruturas exibiram apenas pequenas variações, sendo observada uma discreta redução para a amostra CZ1, com valor de 3,23 eV. Embora a maioria das amostras apresente absorção na região do UV, optou-se pela utilização de radiação de luz visível em virtude de seu menor custo e de sua eficácia comparável à indicada pela análise de band gap. Tal resultado sugere uma maior influência do CTO nas heteroestruturas, considerando que este material apresenta absorção mais significativa na faixa do visível.

O estudo também avaliou a capacidade do material de gerar energia elétrica quando submetido a forças mecânicas, ou seja, o efeito piezoelétrico. Na Figura 5 é mostrado a curva referente ao sinal piezoelétrico gerado a partir de cargas CZ1, onde mostrou um desempenho melhor que o ZnO puro, com um pico de resposta em frequências específicas (100-150 Hz). Esse pico de sinal pode ser relacionado com a frequência de ressonância mecânica do material que quando incidida em conjunto com esforço mecânico, amplifica o sinal piezoelétrico, e consequentemente, aumenta a geração de potencial [21,22].

As propriedades fotocatalíticas das heterojunções piezoelétricas de CTO/ZnO juntamente com suas versões puras foram investigadas na degradação do corante Rodamina B (RhB) (5 mg.L⁻¹), quando submetidas à radiação ultravioleta e à aplicação de vibrações ultrassônicas.

Na figura 6, observa-se diferenças significativas na eficiência de degradação da Rodamina B entre as heteroestruturas obtidas e por diferentes processos, constando-se a heteroestrutura CZ1 a mais eficiente.

Na condição de fotocatalise isolada, figura 6a (irradiação apenas com luz visível), a degradação do CZ1 alcançou aproximadamente 65% após 120 minutos de reação. Quando aplicada apenas a piezocatálise, figura 6b (apenas ultrassom) com a mesma heteroestrutura apresentou desempenho inferior, atingindo cerca de 58% no mesmo intervalo de tempo, 120 minutos.

Contudo, a combinação dos dois processos, figura 6c (piezofotocatálise) a mesma amostra resultou em uma eficiência de 93,5%, confirmando o efeito sinérgico entre os processos.

Para avaliar a eficiência e estabilidade da heteroestrutura CZ1, foram realizados quatro ciclos de reuso do material frente ao corante RhB, seguindo os padrões dos melhores parâmetros já estabelecidos. O desempenho fotocatalítico exposto em Fig.7a mostra que a taxa de degradação foi mantida em torno de 93.5% de eficiência. Além disso, o padrão de DRX não mostrou nenhuma alteração na intensidade ou posição dos picos, conforme mostrado na Fig. 7b, garantindo a estabilidade da heteroestrutura após os ciclos de reuso.

Conclusão

Desta forma, constata-se que a heterojunção CTO/ZnO investigada neste estudo, possui um elevado potencial para aplicações ambientais, não havendo até o presente momento registros prévios dessa combinação na literatura. O material desenvolvido apresentou propriedades estruturais e morfológicas favoráveis, incluindo ausência de fases secundárias, morfologia controlada, modificações químicas relevantes e aumento da área superficial específica. Além disso, os defeitos estruturais introduzidos durante a formação da heterojunção mostraram-se determinantes, influenciando positivamente as propriedades piezofotocatalíticas, como comprovado pelas análises de espectroscopia de fotoluminescência (PL).

A investigação do sinergismo entre diferentes fontes de radiação demonstrou que a amostra CZ1 atingiu desempenho expressivamente superior na degradação do corante Rodamina B quando submetida à ativação simultânea

por a luz visível e o ultrassom. Esse comportamento confirma o efeito conjunto da heterojunção e ressalta os expressivos ganhos de eficiência piezofotocatalítica.

Assim, os resultados obtidos posicionam a heterojunção CTO/ZnO como um material altamente promissor para processos avançados de tratamento de efluentes, contribuindo de forma significativa para o avanço de tecnologias sustentáveis voltadas à remediação ambiental.

Referências

- [1]ONG, C. B.; NG, L. Y.; MOHAMMAD, A. W. A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 536–551, jan. 2018.
- [2]LEE, K. M. et al. Recent developments of zinc oxide based photocatalyst in water treatment technology: A review. *Water Research*, v. 88, p. 428–448, jan. 2016.
- [3]Y. Lu, R. Chen, F. Wu, W. Gan, Z. Zhao, L. Chen, M. Zhang, Z. Sun, A novel SiP/TiO₂ S-scheme heterojunction photocatalyst for efficient degradation of norfloxacin, *Sep Purif Technol* 324 (2023) 124572. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124572>.
- [4]K. Choudhary, R. Saini, L.P. Purohit, Controllable synthesis of Ce-doped ZnO: TiO₂ nanospheres for photocatalytic degradation of MB dye and levofloxacin under sunlight light irradiation, *Opt Mater (Amst)* 143 (2023) 114167. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.114167>.
- [5]T. Liu, Y. Li, Z. Zheng, P. Jia, Y. Wang, Synthesis of novel flower-like Bi₄Ti₃O₁₂/BiOCl heterojunctions with excellent piezoelectric photocatalytic performance, *J Alloys Compd* 966 (2023) 171572. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.171572>.
- [6]Z. Jiang, X. Tan, J. Xu, Y. Huang, Piezoelectric-Induced Internal Electric Field in Bi₂WO₆ Nanoplates for Boosting the Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants, *ACS Appl Nano Mater* 5 (2022) 7588–7597. <https://doi.org/10.1021/acsanm.2c01698>.
- [7]A. Ranjan, K.-Y. Hsiao, C.-Y. Lin, Y.-H. Tseng, M.-Y. Lu, Enhanced Piezocatalytic Activity in Bi_{1/2}Na_{1/2}TiO₃ for Water Splitting by Oxygen Vacancy Engineering, *ACS Appl Mater Interfaces* 14 (2022) 35635–35644. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c07817>.
- [8]Z. Wang, M. Xiang, B. Huo, J. Wang, L. Yang, W. Ma, J. Qi, Y. Wang, Z. Zhu, F. Meng, A novel ZnO/CQDs/PVDF piezoelectric system for efficiently degradation of

antibiotics by using water flow energy in pipeline: Performance and mechanism, *Nano Energy* 107 (2023) 108162. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.108162>.

[9] S. Banerjee, S. Padhan, R. Thangavel, Modifying the photocatalytic property of ZnO-based photoelectrodes by introducing MgFe₂O₄ nanoparticles, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 33 (2022) 9277–9288. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-07277-4>.

[10] N. Ramesh Reddy, P. Mohan Reddy, J. Hak Jung, S. Woo Joo, Construction of various morphological ZnO-NiO S-scheme nanocomposites for photocatalytic dye degradation, *Inorg Chem Commun* 146 (2022) 110107. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.110107>.

[11] M. E., S. M.B., J. P.E., Photocatalytic activity of ZnO-WO₃ for diclofenac degradation under visible light irradiation, *J Photochem Photobiol A Chem* 383 (2019) 111993. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.111993>.

[12] Q. Gao, L. Zhou, S. Xu, S. Dai, Q. Zhu, Y. Li, Significant improvement and mechanism of tetracycline degradation with the synergistic piezoelectric effect of ZnO/CuS Z-scheme heterojunction photocatalysts, *Environ Sci Nano* 10 (2023) 581–594. <https://doi.org/10.1039/D2EN01033J>.

[13] J. Low, J. Yu, M. Jaroniec, S. Wageh, A.A. Al-Ghamdi, Heterojunction Photocatalysts, *Advanced Materials* 29 (2017) 1601694. <https://doi.org/10.1002/adma.201601694>.

[14] M.-Z. Qin, W.-X. Fu, H. Guo, C.-G. Niu, D.-W. Huang, C. Liang, Y.-Y. Yang, H.-Y. Liu, N. Tang, Q.-Q. Fan, 2D/2D Heterojunction systems for the removal of organic pollutants: A review, *Adv Colloid Interface Sci* 297 (2021) 102540. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102540>.

[15] Q. Wang, Q. Guo, L. Wang, B. Li, The flux growth of single-crystalline CoTiO₃ polyhedral particles and improved visible-light photocatalytic activity of heterostructured CoTiO₃/g-C₃N₄ composites, *Dalton Transactions* 45 (2016) 17748–17758. <https://doi.org/10.1039/C6DT03449G>.

[16] L. Wang, Q. Li, X. Lu, Z. Tian, S. He, J. Zhang, A visible light driven 3D hierarchical CoTiO₃/BiOBr direct Z-scheme heterostructure with enhanced photocatalytic degradation performance, *New Journal of Chemistry* 46 (2022) 124–135. <https://doi.org/10.1039/D1NJ04252A>.

[17] W. Mao, K. Bao, F. Cao, B. Chen, G. Liu, W. Wang, B. Li, Synthesis of a CoTiO₃/BiOBr heterojunction composite with enhanced photocatalytic performance, *Ceram Int* 43 (2017) 3363–3368. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.11.180>.

[18] A.S. Soares, F.P. Araujo, J.A. Osajima, Y. Guerra, B.C. Viana, R. Peña-Garcia, Nanotubes/nanorods-like structures of La-doped ZnO for degradation of Methylene Blue and Ciprofloxacin, *J Photochem Photobiol A Chem* 447 (2024) 115235. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.115235>.

- [19] H. Liao, M. Li, Y. Wang, G. Wang, L. Yang, J. Shao, C. Zhang, H. Li, J. Lu, Construction of bifunctional materials with high adsorption and deep photodegradation of bisphenol A by In-MOF decorated with Ag/Ag₃PO₄, Sep Purif Technol 325 (2023) 124603. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124603>
- [20] D.L. Wood, J. Tauc, Weak Absorption Tails in Amorphous Semiconductors, Phys Rev B 5 (1972) 3144–3151. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.5.3144>.
- [21] S. Stassi, I. Cooperstein, M. Tortello, C.F. Pirri, S. Magdassi, C. Ricciardi, Reaching silicon-based NEMS performances with 3D printed nanomechanical resonators, Nat Commun 12 (2021) 6080. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26353-1>.
- [22] T. Dinh, M. Rais-Zadeh, T. Nguyen, H. Phan, P. Song, R. Deo, D. Dao, N. Nguyen, J. Bell, Micromachined Mechanical Resonant Sensors: From Materials, Structural Designs to Applications, Adv Mater Technol 9 (2024). <https://doi.org/10.1002/admt.202300913>.

Anexos

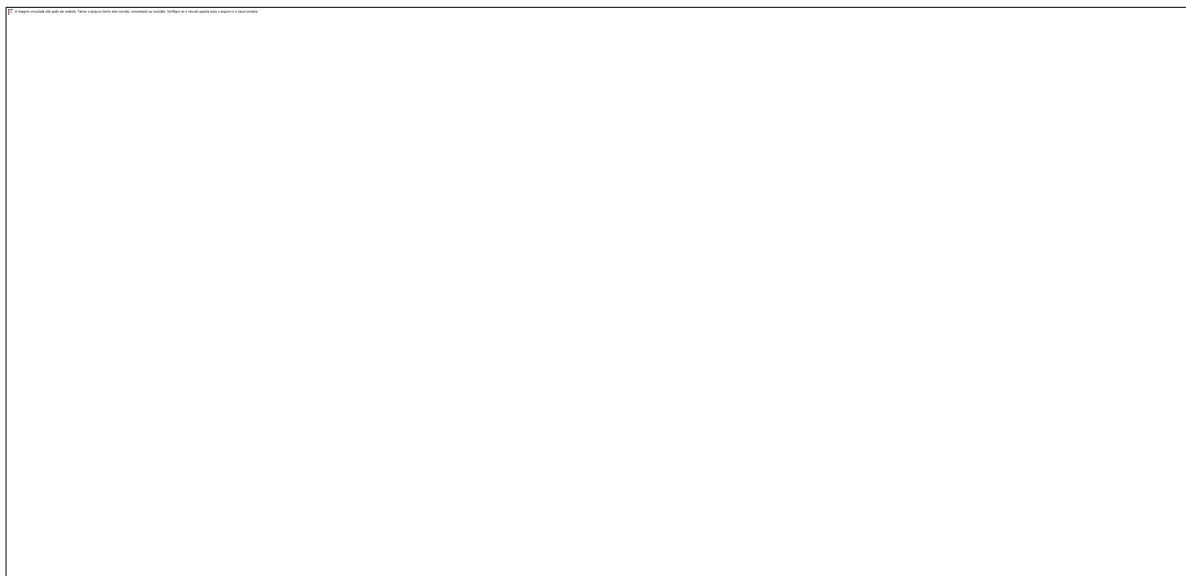


Figura 1- Método de síntese para obtenção das heteroestruturas ZNO/CoTiO₃

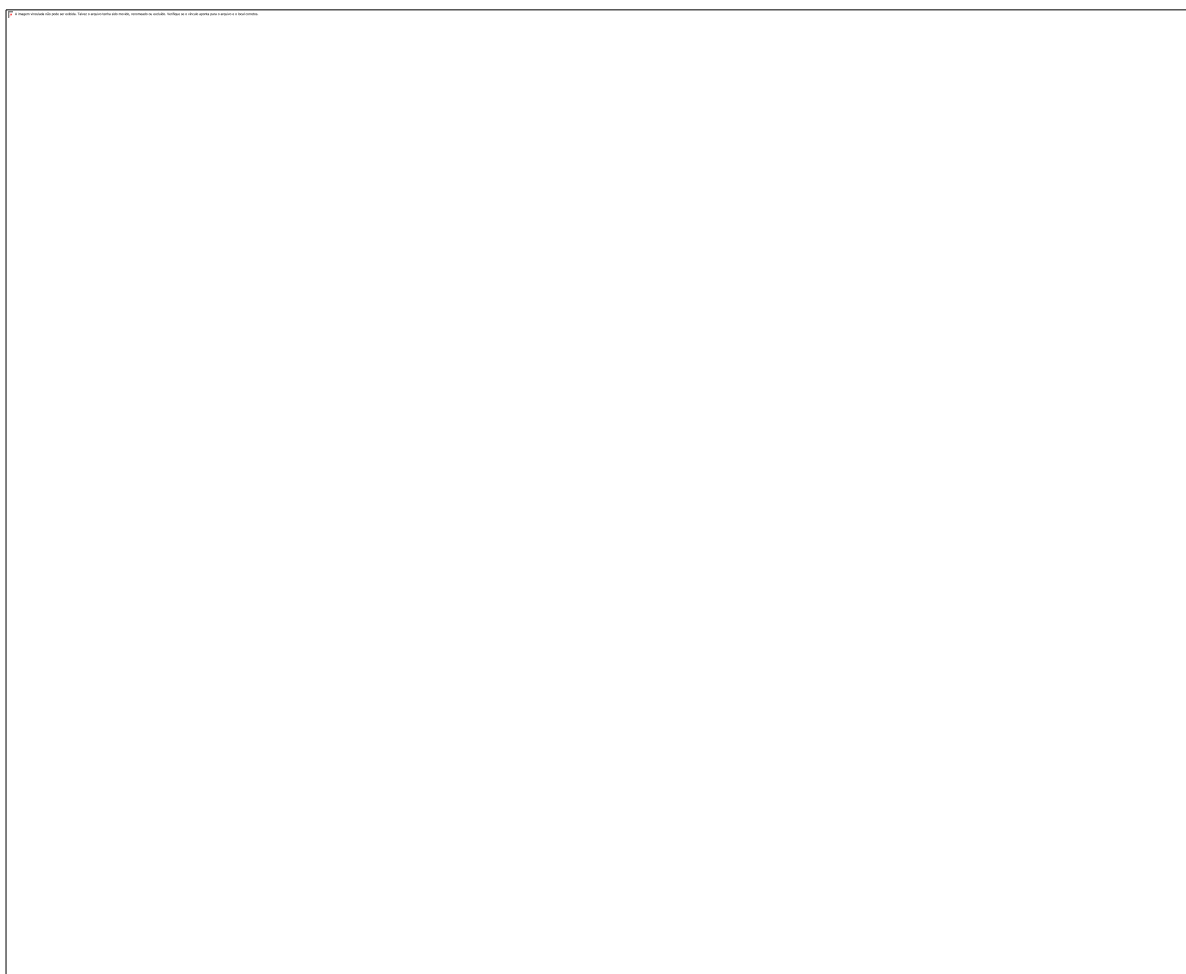


Figura 2: Difração de raio x (DRX) dos compostos (ZNO/CTO) e as heteroestruturas obtidas

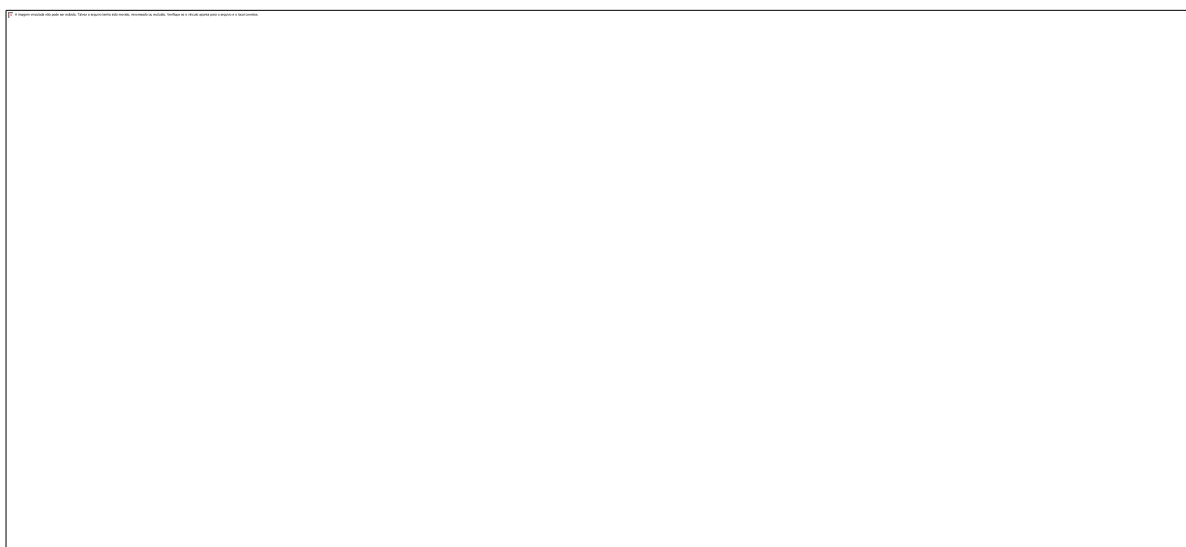


Figura 3- Microscopia eletrônica de varredura(MEV-FEG) a) ZnO- b) CTO- c) CZ1- d)CZ2- e) CZ3

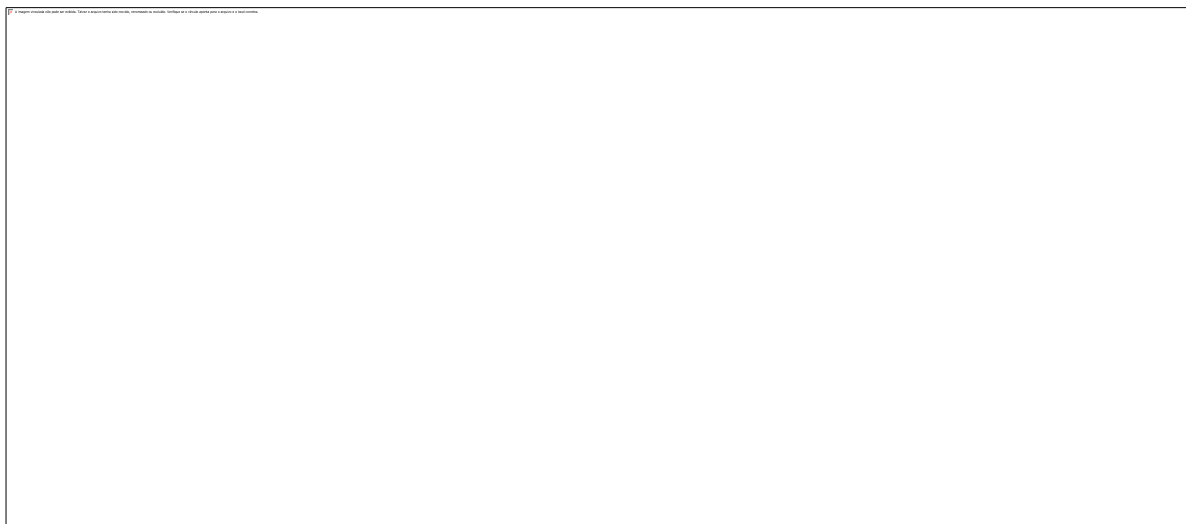


Figura 4- A) Espectros DRS, B) Estimativa da lacuna de banda da heteroestrutura

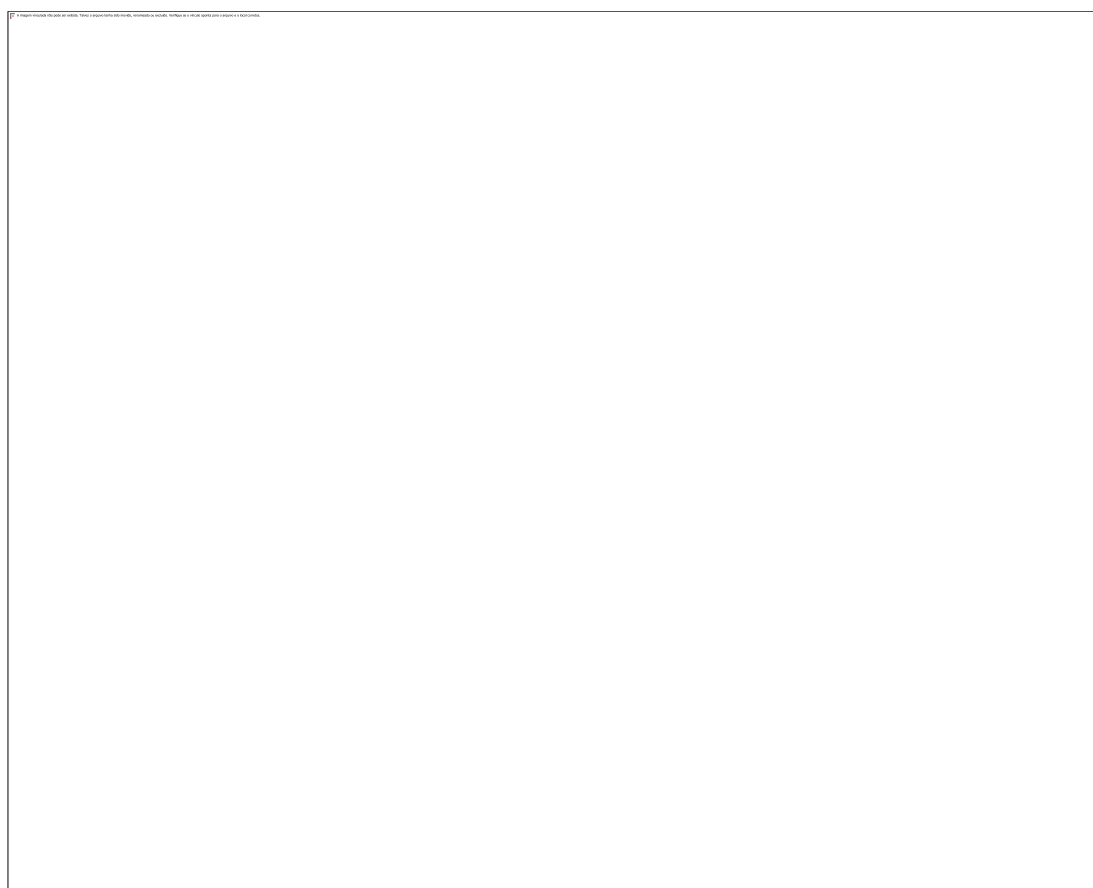


Figura 5- Potencial elétrico gerado em função da frequência com diferentes forças aplicadas

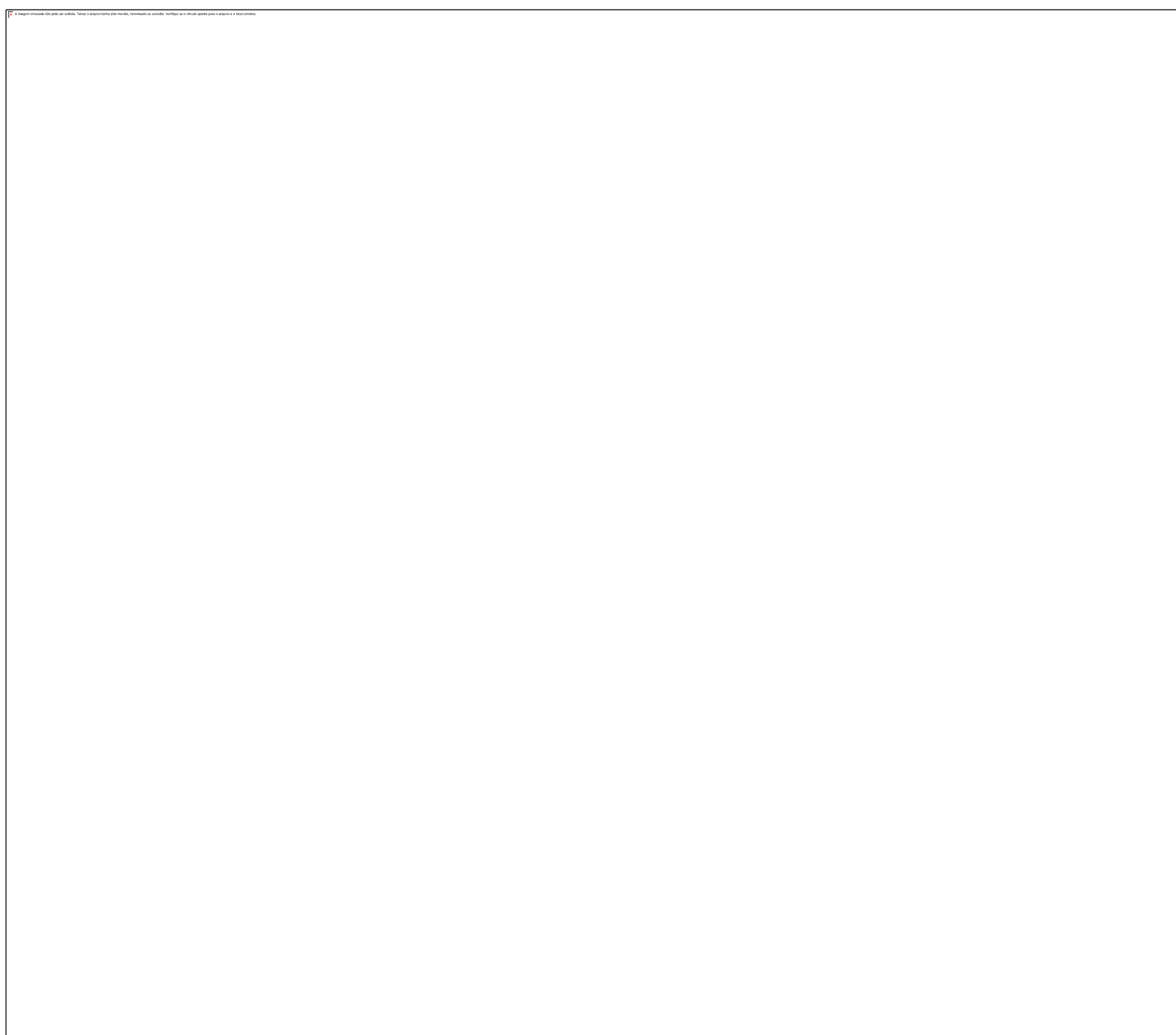


Figura 6– Curvas de concentração em função do tempo para (a) fotocatalise, (b) piezocatalise e (c) piezofotocatalise, (d) as constantes cinéticas correspondentes de cada processo

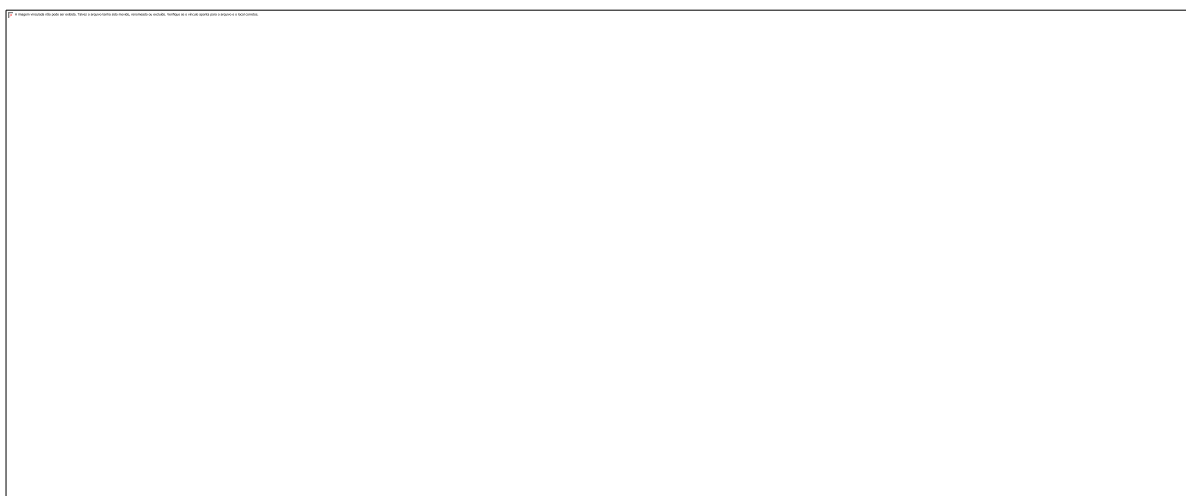


Figura 7 (a) Ciclos de reuso -(b) difratogramas de DRX antes e após os ciclos de reuso.

CÓDIGO: ET0562

AUTOR: EKISUEL CARLOS FAGUNDES TEIXEIRA

ORIENTADOR: MEYSAM MASHHADIKARIMI

TÍTULO: FORMAÇÃO DO CARBETO DE ALTA ENTROPIA (TaVTiNbW)C
PRODUZIDO POR MOAGEM DE ALTA ENERGIA

Resumo

Carbetos de alta entropia (HECs) têm recebido grande atenção devido à sua alta dureza, estabilidade térmica e resistência à corrosão e desgaste, o que os torna candidatos a aplicações em ferramentas de corte, revestimentos protetores, barreiras térmicas e componentes para ambientes extremos. Neste trabalho, o carbeto (TaVTiNbW)C foi sintetizado por uma rota inovadora de moagem de alta energia (MAE) em duas etapas, a 300 rpm, eliminando a necessidade de tratamentos térmicos subsequentes comumente empregados, como sinterização por plasma pulsado (SPS), prensagem a quente ou recozimento. Na primeira etapa, a moagem dos precursores metálicos por 6, 12 e 18 h promoveu homogeneização progressiva, observada por DRX e MEV/EDS, embora com evolução não linear das intensidades de picos, associada a mecanismos de deformação, fratura e recristalização parcial. Na segunda etapa, a moagem com carbono por 6 e 12 h levou à formação direta da fase única fcc (TaVTiNbW)C, confirmada por DRX e corroborada por micrografias que mostraram partículas refinadas e uniformes, apesar de pequenas fases residuais persistirem em tempos mais curtos. Os resultados demonstram a robustez e eficiência da MAE como rota escalonável e energeticamente vantajosa para HECs refratários, além de fornecer novos insights sobre seus mecanismos de formação. Essa metodologia inovadora abre caminho para o processamento sustentável de cerâmicas avançadas, com alto potencial em aplicações aeroespaciais, nucleares e energéticas.

Palavras-chave: carbeto de alta energia, moagem de alta energia e multicomponentes

TITLE: Formation of high-entropy carbide (TaVTiNbW)C produced by high-energy ball milling

Abstract

High-entropy carbides (HECs) have attracted increasing attention due to their high hardness, thermal stability, and resistance to corrosion and wear, making them promising candidates for cutting tools, protective coatings, thermal barriers, and components for extreme environments. In this work, the (TaVTiNbW)C carbide was synthesized through an innovative two-step high-energy milling (HEM) route at 300 rpm, eliminating the need for subsequent thermal treatments commonly employed in conventional methods, such as spark plasma sintering (SPS), hot pressing, or annealing. In the first stage, milling of metallic precursors for 6, 12, and 18 h promoted progressive homogenization, as confirmed by XRD and SEM/EDS, though with a non-linear evolution of peak intensities, associated with deformation, fracture, and partial recrystallization. In the second stage, milling with carbon for 6 and 12 h led to the direct formation of the single-phase fcc (TaVTiNbW)C, confirmed by XRD and supported by micrographs showing refined and uniform particles, despite minor residual phases at shorter milling times. The results demonstrate the robustness and efficiency of HEM as a scalable and energy-efficient route for refractory HECs, while providing new insights into their mechanochemical formation. This innovative methodology paves the way for sustainable processing of advanced ceramics with strong potential for aerospace, nuclear, and energy applications.

Keywords: high energy carbide, high energy milling and multicomponent

Introdução

Nos últimos anos, as cerâmicas avançadas têm sido objeto de intenso estudo em função do seu potencial para aplicações que exigem elevada resistência térmica, química e mecânica [1,2]. Nesse cenário, os carbetos de alta entropia (HECs – High-Entropy Carbides) surgem como uma nova classe de materiais cerâmicos, compostos por múltiplos elementos metálicos pertencentes aos grupos IV, V e VI da Tabela Periódica, geralmente em número igual ou superior a cinco, distribuídos de forma equimolar ou quase equimolar na posição do cátion, enquanto um elemento não metálico ocupa a posição do ânion [3,4]. Essa configuração favorece uma ampla variedade de combinações químicas, possibilitando o ajuste de propriedades fundamentais para uso em ambientes operacionais extremos, com altas temperaturas [5], fluxos térmicos intensos [6], elevada reatividade química [7] e deformações severas [8].

Desde o primeiro relato de síntese monofásica de HEC, em 2018 [9], esses materiais têm demonstrado propriedades notáveis, como alta dureza [10], excelente resistência à oxidação [11] e uma faixa ajustável de condutividade térmica [12], características que os posicionam como fortes candidatos às cerâmicas de temperatura ultra-alta (Ultra-High Temperature Ceramics – UHTCs) [13]. O avanço no desenvolvimento desses compostos também tem possibilitado sua aplicação em áreas como biomateriais [14], revestimentos para ferramentas de corte [15] e componentes eletrônicos [16].

Entretanto, ainda existem desafios relevantes no que diz respeito à estabilidade de fase, à estequiometria ideal e à obtenção de microestruturas homogêneas, sobretudo durante o processo de sinterização [17].

A literatura recente destaca a importância da razão molar carbono-metal (C/Me) na formação das fases [18], na molhabilidade da matriz metálica [19] e na densificação do material [20,21]. Zahid Anwer et al. (2023) [22] observaram que valores reduzidos de C/Me favorecem a formação de fases secundárias e dificultam a compactação, enquanto teores mais elevados melhoram a interação entre a matriz de níquel e os carbetos, promovendo microestruturas mais homogêneas. Pötschke, Johannes et al. (2021) [23] realizaram a preparação de um carbeto de alta entropia por diferentes técnicas de sinterização, visando à comparação dos efeitos das diferentes sinterizações sobre o carbeto obtido, foram preparadas duas composições de carbetos multielementares para fins comparativos, no qual ocorreu a partir da rota convencional de processamento de pós que compreende a mistura de carbonetos simples e subsequente sinterização. Ambas as misturas HEC foram feitas com uma composição equiatômica de cinco pós de carbetos metálico.

Este trabalho tem como objetivo produzir um carbeto de alta entropia com composição equimolar (TaVNbTiW)C por moagem de alta energia, utilizando a rota da metalurgia do pó. Também se avalia o efeito da adição de grafite na formação de fases e em propriedades estruturais, microestruturais e mecânicas do material obtido. A proposta se destaca por empregar exclusivamente elementos metálicos, sem a necessidade de tratamentos térmicos posteriores, o que representa uma abordagem inovadora no desenvolvimento de materiais avançados, em alinhamento com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 9: Indústria, Inovação e Infraestrutura, especialmente devido à aplicação potencial em setores estratégicos como aeroespacial, ferramentas de corte, indústria automotiva e mecânica, química, petroquímica, defesa e energia nuclear. Além disso, a utilização da moagem de alta energia, que dispensa etapas convencionais de alta temperatura, permite reduzir significativamente o consumo energético e a geração de resíduos, favorecendo uma produção mais limpa e eficiente, em consonância com o objetivo de desenvolvimento sustentável 12: Consumo e Produção Responsáveis, contribuindo para os princípios da economia circular e sustentabilidade industrial

Metodologia

2.1 Método

Esta seção descreve os materiais, métodos e instrumentos utilizados no desenvolvimento deste estudo. As experimentações foram conduzidas nos Laboratórios de Materiais Cerâmicos e Metais Especiais (LMCME) e Laboratório de Caracterização Estrutural dos Materiais - LCEM da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). O procedimento experimental utilizado adotado neste trabalho é apresentado na Figura (1).

Figura 1 – Fluxograma da preparação do carbeto de alta entropia – (TaVTiNbW)C

Fonte: autoria própria

2.2 Matérias precursoras

Os materiais precursoras utilizados para a realização deste estudo foram os pós metálicos precursoras de titânio, vanádio, tântalo, nióbio, tungstênio e grafite com as seguintes porcentagens de pureza e fabricantes, respectivamente. Titânio (Ti, <99% de pureza, REALUM), vanádio (V, <99% de pureza, GOODFELLOW), tântalo (Ta, <99% de pureza, SIGMA ALDRICH), nióbio (Nb, <99% de pureza, BMMC), tungstênio (W, <99% de pureza, AEM METAL) e grafite (C, <99% de pureza, SIGMA ALDRICH).

Inicialmente foram realizadas as pesagens dos pós em uma balança analítica (modelo SHIMADZU ATY 224R), considerando-se uma razão mássica bola:pó de 10:1, conforme a Tabela 1.

Tabela 1- massa dos pós percussores com proporção equimolar

Fonte: autoria própria

Em seguida, os materiais foram submetidos à técnica de moagem de alta energia, utilizando um moinho planetário modelo Pulverisette 7. Os cadinhos empregados no processo são confeccionados de metal duro de carbeto de tungstênio (composição principal: 93% WC + 6% Co), com densidade de 14,9 g/cm³, volume total de 45 mL e capacidade útil para o material de moagem entre 3 e 22 mL. As esferas utilizadas, também de carbeto de tungstênio, possuem diâmetros de 10 mm e 15 mm, com massas individuais de 7,70 g e 25,98 g, respectivamente.

2.2.1 Caracterizações

Com a obtenção dos pós percussores e a finalização das pesagens, foram realizadas as análises de Difração de raio X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) conforme Figura 2.

Figura 2 – a) Difração de Raios X dos pós precursoras, b) Microscopia Eletrônica de Varredura, 1º-Grafite, 2º-Tungstênio, 3º-Nióbio, 4º-Titânio, 5º-Vanádio e 6º-Tântalo.

Fonte: autoria própria

A Figura 2-a representa os gráficos referentes aos picos de cada um dos pós precursoras que foram obtidos pela técnica de Difração de Raios-X (DRX), na qual foi aplicada utilizando um difratômetro da marca SHIMADZU, modelo XRD-7000, disponibilizado pelo LCEM localizado na UFRN. As análises foram conduzidas com os seguintes parâmetros: a faixa de varredura de 10 a 90° (2θ), com velocidade de 1°/min e passo de 0,02°. Posteriormente foi utilizado o software HighScore Plus versão 3.0 para a identificação das fases.

A Figura 2-b representa os resultados referentes as características morfológicas do material que foram analisados utilizando um microscópio eletrônico de varredura da marca Carl Zeiss, modelo Auriga 40, com EDS (Espectroscopia de energia dispersiva de

raios-X) acoplado, disponibilizado pelo Laboratório de Caracterização Estrutural dos Materiais (LCEM). As análises foram conduzidas com os seguintes parâmetros: ampliação de 500 a 1.000 vezes, tensão de 15 a 20 KV e escala de análise variando de 2 a 20 μm .

2.3 Preparação do carbetto de alta entropia

Os parâmetros utilizados para a formação do carbetto de alta entropia-(TaVTiNbW)C foram: rotação de 300 rpm e 1 hora de moagem com pausas de 30 minutos a cada hora, para ter um melhor controle térmico. O processo de moagem foi dividido em duas etapas, utilizando-se dois cadinhos distintos. O primeiro foi destinado a verificar a composição equimolar final da mistura, após o estágio de 18h, enquanto o segundo teve como finalidade, monitorar os possíveis efeitos da moagem em cada estágio. Dessa forma, os estágios do processo foram organizados conforme descrito: no primeiro, a moagem foi realizada a 300 rpm por 6 horas; no segundo estágio, o tempo total foi estendido para 12 horas; e, no terceiro, para 18 horas. Ao final de cada ciclo temporal, uma porção da amostra foi coletada do segundo cadinho, com o objetivo de viabilizar análises subsequentes voltadas à investigação das transformações estruturais e microestruturais em função do tempo de moagem. No caso do primeiro cadinho, a coleta foi realizada apenas ao término do terceiro estágio, visando à possível confirmação da formação da liga de alta entropia, ou mudança na mistura dos pós precursores.

Em relação a etapa 2, para a formação do carbetto de alta entropia, foram realizadas as pesagens da mistura resultante de 18h e do grafite, na proporção equimolar de 1:1, conforme Tabela 2. Os parâmetros de moagem mantiveram-se iguais a etapa 1, no qual, as análises de DRX e MEV/EDS foram conduzidas ao término de cada estágio, com o objetivo de confirmar a formação da fase de carbetto de alta entropia.

Tabela 2 – massa da mistura resultando das 18h e do grafite em proporção equimolar

Fonte: autoria Própria

Resultados e Discussões

A síntese do carbetto de alta entropia (TaVTiNbW)C foi conduzida em duas etapas sequenciais. A primeira envolveu a moagem dos elementos precursores metálicos puros, realizada nos tempos de 6, 12 e 18 horas a 300 rpm, com posterior caracterização por DRX e MEV. A segunda etapa consistiu na formação do carbetto propriamente dito, com moagem em tempos de 6 e 12 horas, também analisada por DRX e MEV. A seguir, são apresentados e discutidos os resultados de cada etapa, sempre em correlação entre as técnicas utilizadas.

3.1 Difração de Raios X - Primeira Etapa

Na primeira etapa de moagem, o comportamento da intensidade dos picos principais não seguiu uma tendência linear de redução como seria esperado em processos de amorfização progressiva (Figura 3) [24]. Especificamente, após 6 horas de moagem, o pico de maior intensidade apresentou valor de 4488, reduzindo para 3959 em 12 horas, mas voltando a crescer para 4401 em 18 horas, comportamento atípico que sugere a ocorrência de fenômenos competitivos no sistema. Esse aumento após 18 horas sugere a ocorrência de rearranjos cristalinos locais, possivelmente associados a tensões internas, recristalização parcial induzida pela deformação ou até heterogeneidade na distribuição da energia de impacto durante a moagem [24].

Figura 3. Padrões de DRX da amostra moída por 6, 12 e 18 h na primeira etapa da MAE, evidenciando a evolução das fases elementares e variações de intensidade.

Fonte: autoria própria

Outro aspecto relevante é a velocidade de rotação de 300 rpm utilizada nesta etapa, que embora suficiente para promover mistura mecânica efetiva, pode ter limitado a entrada de energia necessária para a difusão sólida entre os átomos, restringindo assim a formação de uma fase única típica das ligas de alta entropia [25]. Permaneceram apenas as fases correspondentes aos elementos individuais, como Ti, V, Ta, Nb e W, sem evidência ainda de fases intermediárias estáveis, indicando que a energia fornecida não foi suficiente para promover a difusão sólida e a estabilização da fase única [26,27].

Dessa forma, apesar de não terem sido atingidas as condições adequadas para induzir a formação da liga de alta entropia já nessa primeira etapa, os resultados demonstram que o processo foi eficaz em promover uma homogeneização parcial dos elementos, estabelecendo as condições necessárias para o avanço na formação do carbetos de alta entropia (TaVTiNbW)C na segunda fase da síntese.

3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura - Primeira Etapa

As micrografias apresentadas na Figura 4 evidenciam a evolução microestrutural ao longo da moagem. Após 6 horas, observa-se uma mistura heterogênea, com partículas de diferentes tamanhos e formas, sugerindo que os estágios iniciais são dominados pelo processo de fratura e soldagem localizada [28]. O mapeamento de EDS correspondente confirma a presença de regiões distintas ricas em diferentes elementos, reforçando a ausência de homogeneidade plena.

Figura 4. Micrografias por MEV da primeira etapa: a–c) mistura moída por 6 h, d–f) mistura moída por 12 h, g–i) mistura moída por 18 h, em diferentes ampliações e com respectivos mapeamentos composicionais.

Fonte: autoria própria.

Com o avanço para 12 horas de moagem, as partículas se tornam mais refinadas e melhor distribuídas, embora ainda seja possível identificar heterogeneidades locais. A presença de heterogeneidades locais, especialmente no estágio de 6 horas, pode ter contribuído para o comportamento não linear das intensidades de DRX, já que

diferentes regiões apresentam graus distintos de deformação e de acúmulo de defeitos cristalinos [28].

Após 18 horas, as imagens revelam uma distribuição de partículas ainda mais uniforme, com redução significativa das heterogeneidades, indicando que a moagem prolongada favorece a homogeneização microestrutural [27,29].

Assim, embora heterogeneidades ainda sejam evidentes nos estágios iniciais, o processo de moagem se mostrou eficiente em intensificar a homogeneização microestrutural ao longo do tempo, garantindo uma evolução consistente que sustenta os avanços observados posteriormente na formação do carbeto de alta entropia (HEC) (TaVTiNbW)C.

3.3 Difração de Raios X - Segunda Etapa

Na segunda etapa, realizada em tempos de 6 e 12 horas, observou-se a formação clara da fase de carbeto de alta entropia (TaVTiNbW)C [27,30,31]. Os difratogramas correspondentes (Figura 5) mostram picos característicos de carbetos do tipo fcc, indicando a estabilização da solução sólida multicomponente [30,31].

Figura 5. Padrões de DRX da segunda etapa da MAE após 6 e 12 h de moagem, confirmando a formação do carbeto multicomponente (TaVTiNbW)C.

Fonte: autoria própria.

Além da formação do HEC, ainda foram detectadas fases residuais associadas aos metais individuais, como W e Ta, mais resistentes à difusão sólida, além de pequenas contribuições de carbonetos simples (TiC e VC) nos estágios iniciais de 6 horas. A persistência de fases residuais pode estar associada a diferenças locais na difusão dos elementos, especialmente no caso do W, que apresenta menor difusividade relativa em comparação a Ti ou V [26]. Além disso, a presença de tensões internas acumuladas durante a moagem pode favorecer a formação de fases metastáveis, que coexistem com a fase de carbeto de alta entropia estabilizada [27].

Portanto, mesmo com a presença de fases residuais, os resultados confirmam de forma robusta a formação da fase de carbeto de alta entropia (TaVTiNbW)C, representando um marco importante deste estudo, já que a obtenção dessa fase em condições controladas demonstra a efetividade da metodologia empregada e abre perspectivas para o refinamento de parâmetros em trabalhos futuros.

3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura - Segunda Etapa

As micrografias obtidas na segunda etapa (Figura 6) mostram uma evolução consistente com os resultados de DRX. Após 6 horas, observa-se a presença de partículas refinadas, mas ainda com alguma heterogeneidade em sua distribuição. Com 12 horas, entretanto, verifica-se uma microestrutura mais uniforme, caracterizada por partículas de dimensões mais homogêneas e melhor dispersão [32].

Figura 6. Micrografias por MEV da segunda etapa: a–c) formação do carbeto após 6 h e d–f) após 12 h, em diferentes ampliações e com mapeamentos composicionais.

Fonte: autoria própria

Além disso, a presença de partículas mais uniformes e bem distribuídas em 12 horas contribui para a redução de heterogeneidades locais, o que pode explicar a menor intensidade relativa de fases residuais ainda observadas no DRX [29,32].

Assim, a análise combinada de DRX e MEV confirma que o aumento do tempo de moagem na segunda etapa não apenas favoreceu a formação do carbeto de alta entropia (TiVTaNbW)C, mas também contribuiu para a melhoria da homogeneidade microestrutural, condição essencial para a estabilização e desempenho de carbetos multicomponentes em aplicações avançadas.

Conclusão

A síntese do carbeto de alta entropia (TaVTiNbW)C por moagem de alta energia em duas etapas demonstrou que a rota mecanoquímica é eficaz para promover tanto a homogeneização progressiva quanto a formação da fase desejada. Na primeira etapa, observou-se evolução não linear das intensidades de DRX, associada a fenômenos competitivos de deformação, fratura e recristalização parcial, o que resultou em homogeneização significativa dos elementos, ainda que sem a formação imediata do HEC.

Na segunda etapa, os difratogramas confirmaram a formação da fase de carbeto de alta entropia (TaVTiNbW)C, com estrutura fcc, corroborada por micrografias que evidenciaram maior uniformidade e redução de heterogeneidades [27,30,31]. Esses resultados consolidam a moagem de alta energia como uma rota viável e escalável para a obtenção de HECs, em concordância com os avanços recentes reportados na literatura [26,27].

O presente estudo contribui ao demonstrar que a etapa inicial de homogeneização é crucial para criar as condições que possibilitam a estabilização do carbeto multicomponente, ampliando o entendimento sobre os mecanismos de formação de HECs por via mecanoquímica. Além disso, estabelece uma base metodológica sólida para a exploração de novas composições e ajustes de parâmetros de moagem, visando propriedades otimizadas. Perspectivas futuras incluem a investigação de diferentes rotações de moagem e atmosferas de processamento, bem como a avaliação detalhada das propriedades mecânicas, térmicas e tribológicas do (TaVTiNbW)C, permitindo correlacionar diretamente a rota de síntese com o desempenho funcional em aplicações de interesse tecnológico.

A relevância deste resultado está diretamente associada às aplicações potenciais do carbeto de alta entropia (TaVTiNbW)C, uma vez que materiais desta classe apresentam

elevada dureza, estabilidade térmica e resistência à corrosão, características que os tornam candidatos promissores para uso em revestimentos protetores, ferramentas de corte, barreiras térmicas e componentes estruturais em ambientes extremos, como turbinas a gás, reatores nucleares e sistemas aeroespaciais. Assim, a confirmação da formação dessa fase representa não apenas um avanço científico, mas também um passo estratégico para a aplicação tecnológica dos carbeto de alta entropia, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 9, ao promover inovação e desenvolvimento de novos materiais avançados para a indústria, e o ODS 12, ao incentivar rotas de síntese mais eficientes e sustentáveis no uso de recursos.

Referências

- [1] Y. Fang, S. Zhao, C. Li, Y. Wu, J. Li, H. Fan, Mechanical and tribological performance of (TiNbTaWMo)C high-entropy ceramics in a wide temperature range, *Journal of Materials Research and Technology* 24 (2023) 6312–6321. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.04.220>.
- [2] X. Wen, X. Cui, G. Jin, Y. Liu, Y. Zhang, Y. Fang, In-situ synthesis of nano-lamellar Ni_{1.5}CrCoFe_{0.5}Mo_{0.1}Nb_x eutectic high-entropy alloy coatings by laser cladding: Alloy design and microstructure evolution, *Surf Coat Technol* 405 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126728>.
- [3] Z. Hu, Y. Zhan, G. Zhang, J. She, C. Li, Effect of rare earth Y addition on the microstructure and mechanical properties of high entropy AlCoCrCuNiTi alloys, *Mater Des* 31 (2010) 1599–1602. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.09.016>.
- [4] J. Pötschke, A. Vornberger, T. Gestrich, L.M. Berger, A. Michaelis, Influence of different binder metals in high entropy carbide based hardmetals, *Powder Metallurgy* 65 (2022) 373–381. <https://doi.org/10.1080/00325899.2022.2076311>.
- [5] W. Zhao, Q. Ma, B. Du, H. Zhang, Y. Lv, S. Liu, W. Rao, Effect of in-situ formed multi-carbides on the microstructure and wear resistance of AlCoCrFeNi-based high entropy alloy laser clad coatings, *Mater Charact* 223 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2025.114918>.
- [6] H. Shu, W. Zhong, H. Zhao, F. Hong, B. Yue, Mechanical properties and high-pressure behavior of high entropy carbide (Mo, Nb, Ta, V, W)C, *Int J Refract Metals Hard Mater* 121 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2024.106651>.
- [7] Y. Tan, W. Liao, Z. Teng, X. Zhou, In situ reaction synthesis of high-entropy carbide/diboride composite with high mechanical properties, *Journal of the American Ceramic Society* 107 (2024) 2565–2572. <https://doi.org/10.1111/jace.19594>.

- [8] X. Han, V. Girman, R. Sedlak, J. Dusza, E.G. Castle, Y. Wang, M. Reece, C. Zhang, Improved creep resistance of high entropy transition metal carbides, *J Eur Ceram Soc* 40 (2020) 2709–2715. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2019.12.036>.
- [9] D. Medved', M. Ivor, A. Kovalčíková, E. Múdra, T. Csanádi, R. Sedlák, H. Ünsal, P. Tatarko, M. Tatarková, P. Šajgalík, J. Dusza, Wear behavior of (Mo–Nb–Ta–V–W)C high-entropy carbide, *Int J Appl Ceram Technol* 20 (2023) 224–235. <https://doi.org/10.1111/ijac.14111>.
- [10] K. Cui, Y. Zhang, High-Entropy Alloy Films, *Coatings* 13 (2023). <https://doi.org/10.3390/coatings13030635>.
- [11] Z. Cao, J. Sun, L. Meng, K. Zhang, J. Zhao, Z. Huang, X. Yun, Progress in densification and toughening of high entropy carbide ceramics, *J Mater Sci Technol* 161 (2023) 10–43. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2023.03.034>.
- [12] X. Yan, L. Constantin, Y. Lu, J.F. Silvain, M. Nastasi, B. Cui, (Hf_{0.2}Zr_{0.2}Ta_{0.2}Nb_{0.2}Ti_{0.2})C high-entropy ceramics with low thermal conductivity, *Journal of the American Ceramic Society* 101 (2018) 4486–4491. <https://doi.org/10.1111/jace.15779>.
- [13] L. Feng, W.G. Fahrenholtz, D.W. Brenner, High-Entropy Ultra-High-Temperature Borides and Carbides: A New Class of Materials for Extreme Environments, *10* (2025) 52. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-080819>.
- [14] L. Chang, H. Jing, C. Liu, C. Qiu, X. Ling, High-Entropy Materials for Prospective Biomedical Applications: Challenges and Opportunities, *Advanced Science* (2024). <https://doi.org/10.1002/advs.202406521>.
- [15] Y. Chen, Z. Sun, Z. Wang, W. Zhao, Z. Shang, Influence of multi-element bonding phase composition on the preparation and properties of pressureless-sintered (Ta, Nb, Ti, V, W)C high-entropy ceramics, *J Mater Res* 39 (2024) 1181–1196. <https://doi.org/10.1557/s43578-024-01302-y>.
- [16] J. Zhang, W. Wang, Z. Zhang, J. Chen, X. Sun, G. Sun, Y. Liang, G. Han, W. Zhang, Synthesis, microstructure and electromagnetic wave absorption properties of high-entropy carbide powders, *J Alloys Compd* 966 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.171593>.
- [17] X.C. Deng, G.H. Zhang, Preparation of high-performance (ZrHfTaNbTiMo)C–10Co ceramic by SPS using self-synthesized fine high-entropy carbide powders, *Ceram Int* 50 (2024) 21050–21058. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.03.213>.
- [18] D. Rana, K. Balani, Isolating strengthening contributions in multiphase high entropy (Zr-Ta-W-Ti)C-SiC based carbide ceramics, *Int J Refract Metals Hard Mater* 110 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2022.106024>.

- [19] J. Hu, Q. Yang, W. Wu, Y. Zhang, D. Yan, Z. Li, Tuning interfacial wettability in high-entropy cemented carbides for enhanced mechanical performance, *Journal of the American Ceramic Society* (2024). <https://doi.org/10.1111/jace.20317>.
- [20] W. Zhang, L. Chen, C. Xu, X. Lv, Y. Wang, J. Ouyang, Y. Zhou, Grain growth kinetics and densification mechanism of (TiZrHfVNbTa)C high-entropy ceramic under pressureless sintering, *J Mater Sci Technol* 110 (2022) 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.08.070>.
- [21] D. Yu, J. Yin, B. Zhang, X. Liu, Z. Huang, Recent development of high-entropy transitional carbides: a review, *Journal of the Ceramic Society of Japan REVIEW* 128 (2020). <https://doi.org/10.2109/jcersj2>.
- [22] Z. Anwer, S. Huang, J. Vleugels, Liquid phase assisted synthesis of (Ti,V,Nb,Ta,W)C-Ni high entropy carbide cermets by conventional pressureless sintering, *Int J Refract Metals Hard Mater* 107 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2022.105914>.
- [23] J. Pötschke, M. Dahal, M. Herrmann, A. Vornberger, B. Matthey, A. Michaelis, Preparation of high-entropy carbides by different sintering techniques, *J Mater Sci* 56 (2021) 11237–11247. <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06004-y>.
- [24] A. Vidal-Crespo, J.J. Ipus, J.S. Blázquez, A. Conde, Mechanical Amorphization and Recrystallization of Mn-Co(Fe)-Ge(Si) Compositions, *Metals (Basel)* 9 (2019) 534. <https://doi.org/10.3390/met9050534>.
- [25] O.N. Senkov, D.B. Miracle, K.J. Chaput, J.-P. Couzinie, Development and exploration of refractory high entropy alloys—A review, *J Mater Res* 33 (2018) 3092–3128. <https://doi.org/10.1557/jmr.2018.153>.
- [26] H. Meng, Y. Chu, Surface energies in high-entropy carbides with variable carbon stoichiometry, *Journal of the American Ceramic Society* 105 (2022) 5835–5842. <https://doi.org/10.1111/jace.18521>.
- [27] M.D. Hossain, T. Borman, C. Oses, M. Esters, C. Toher, L. Feng, A. Kumar, W.G. Fahrenholtz, S. Curtarolo, D. Brenner, J.M. LeBeau, J. Maria, Entropy Landscaping of High-Entropy Carbides, *Advanced Materials* 33 (2021). <https://doi.org/10.1002/adma.202102904>.
- [28] C. Suryanarayana, Mechanical alloying: a critical review, *Mater Res Lett* 10 (2022) 619–647. <https://doi.org/10.1080/21663831.2022.2075243>.
- [29] B. Ye, S. Ning, D. Liu, T. Wen, Y. Chu, One-step synthesis of coral-like high-entropy metal carbide powders, *Journal of the American Ceramic Society* 102 (2019) 6372–6378. <https://doi.org/10.1111/jace.16514>.
- [30] P. Sarker, T. Harrington, C. Toher, C. Oses, M. Samiee, J.-P. Maria, D.W. Brenner, K.S. Vecchio, S. Curtarolo, High-entropy high-hardness metal carbides discovered by

entropy descriptors, Nat Commun 9 (2018) 4980. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07160-7>.

[31] T.J. Harrington, J. Gild, P. Sarker, C. Toher, C.M. Rost, O.F. Dippo, C. McElfresh, K. Kaufmann, E. Marin, L. Borowski, P.E. Hopkins, J. Luo, S. Curtarolo, D.W. Brenner, K.S. Vecchio, Phase stability and mechanical properties of novel high entropy transition metal carbides, Acta Mater 166 (2019) 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.12.054>.

[32] L. Feng, W.G. Fahrenholtz, G.E. Hilmas, Y. Zhou, Synthesis of single-phase high-entropy carbide powders, Scr Mater 162 (2019) 90–93. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.10.049>.

Anexos

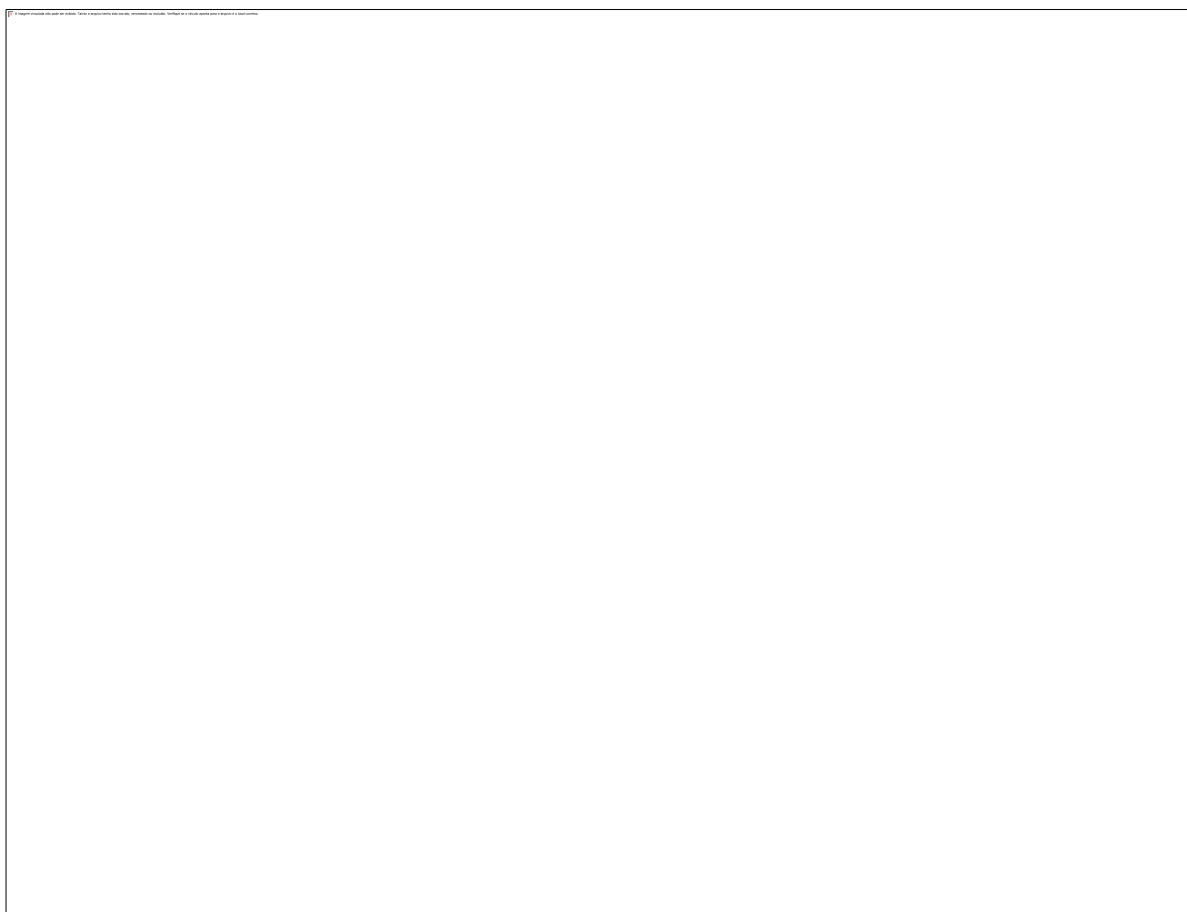


Figura 1 – Fluxograma da preparação do carbeto de alta entropia – (TaVTiNbW)C

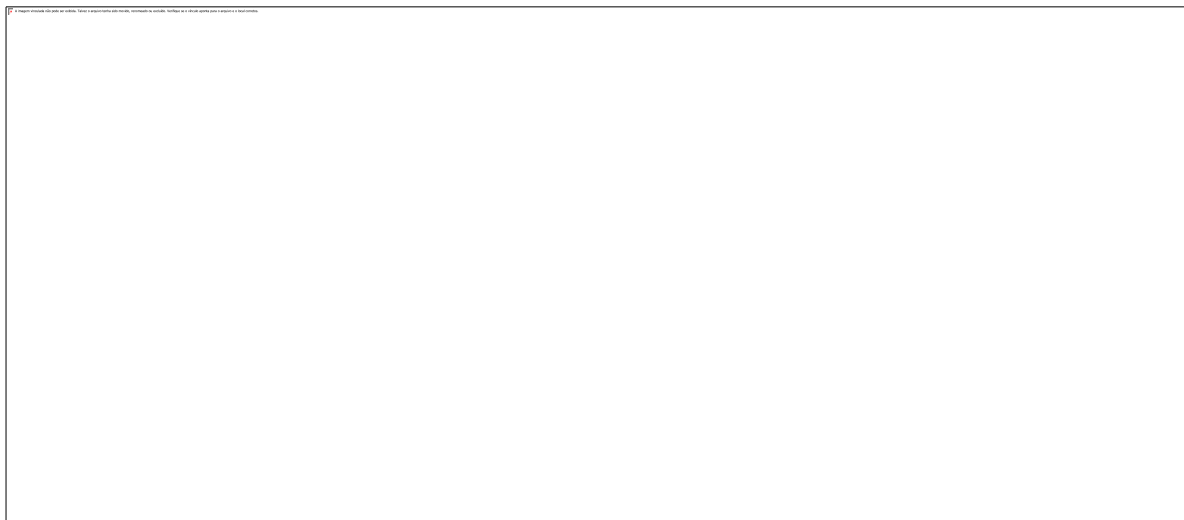


Tabela 1- massa dos pós percussores com proporção equimolar



Figura 2 – a) Difração de Raios X dos pós precursores



Figura 2 – b) Microscopia Eletrônica de Varredura, 1º-Grafite, 2º-Tungstênio, 3º-Nióbio, 4º-Titânio, 5º-Vanádio e 6º-Tântalo.

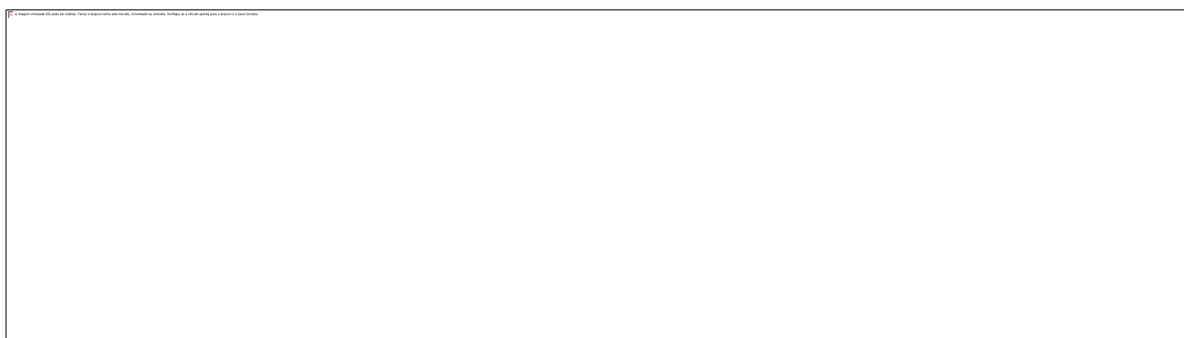


Tabela 2 – massa da mistura resultando das 18h e do grafite em proporção equimolar



Figura 3. Padrões de DRX da amostra moída por 6, 12 e 18 h na primeira etapa da MAE, evidenciando a evolução das fases elementares e variações de intensidade.



Figura 4. Micrografias por MEV da primeira etapa: a–c) mistura moída por 6 h, d–f) mistura moída por 12 h, g–i) mistura moída por 18 h, em diferentes ampliações e com respectivos mapeamentos composicionais.



Figura 5. Padrões de DRX da segunda etapa da MAE após 6 e 12 h de moagem, confirmando a formação do carbeto multicomponente (TaVTiNbW)C.



Figura 6. Micrografias por MEV da segunda etapa: a–c) formação do carbeto após 6 h e d–f) após 12 h, em diferentes ampliações e com mapeamentos composicionais.

CÓDIGO: ET0569

AUTOR: JOÃO VICTOR GOMES DE SOUZA

ORIENTADOR: MAURICIO ROBERTO BOMIO DELMONTE

TÍTULO: NiWO_4 e CoWO_4 Acoplados a AgCl: Avaliação Fotocatalítica sob Luz UV e Solar

Resumo

Neste trabalho foram sintetizadas, pelo método hidrotérmico assistido por micro-ondas, as heteroestruturas $\text{NiWO}_4/\text{AgCl}$ e $\text{CoWO}_4/\text{AgCl}$, visando aplicações ambientais avançadas. As análises de DRX confirmaram a formação de fases puras e estáveis, enquanto os espectros UV-Vis evidenciaram alterações significativas nos valores de bandgap, resultado da forte interação interfacial entre os semicondutores. Essa modificação eletrônica foi determinante para ampliar a absorção de luz e favorecer a separação dos pares elétron-buraco. Nos testes de degradação fotocatalítica de corantes (Violeta Cristal, Verde Malaquita, Rodamina B) e do antibiótico levofloxacino, a heteroestrutura $\text{NiWO}_4/\text{AgCl}$ apresentou desempenho notavelmente superior, superando as fases isoladas. Esse resultado reforça o potencial estratégico do acoplamento entre tungstatos e AgCl como uma rota eficiente, sustentável e de baixo custo para o tratamento de poluentes orgânicos persistentes em meio aquoso. Assim, este estudo contribui para o avanço na concepção de fotocatalisadores mais eficientes, oferecendo alternativas viáveis à descontaminação ambiental.

Palavras-chave: Heteroestrutura, Fotocatálise, Corantes, degradação

TITLE: NiWO_4 and CoWO_4 Coupled with AgCl: Photocatalytic Evaluation under UV and Solar Light

Abstract

In this work, $\text{NiWO}_4/\text{AgCl}$ and $\text{CoWO}_4/\text{AgCl}$ heterostructures were synthesized by the microwave-assisted hydrothermal method, aiming at advanced environmental applications. DRX analyses confirmed the formation of pure and stable phases, while UV-Vis spectra showed significant changes in bandgap values, resulting from strong

interfacial interaction between the semiconductors. This electronic modification was crucial to expand light absorption and favor the separation of electron-hole pairs. In photocatalytic degradation tests of dyes (Crystal Violet, Malachite Green, Rhodamine B) and the antibiotic levofloxacin, the $\text{NiWO}_4/\text{AgCl}$ heterostructure exhibited remarkably superior performance, surpassing the isolated phases. This result reinforces the strategic potential of coupling tungstates and AgCl as an efficient, sustainable, and low-cost route for the treatment of persistent organic pollutants in aqueous media. Thus, this study contributes to the advancement in the design of more efficient photocatalysts, offering viable alternatives for environmental decontamination.

Keywords: Heterostructure, Photocatalysis, Dyes, Degradation

Introdução

Os tungstatos metálicos, de fórmula geral AWO_4 (em que A representa um cátion metálico divalente), têm despertado crescente interesse da comunidade científica devido às suas propriedades físico-químicas notáveis e ao vasto leque de aplicações tecnológicas [1, 2]. Esses materiais vêm sendo amplamente explorados em catálise e fotocatalise, luminescência, óptica, sensores, supercapacitores e lasers de estado sólido.

A estrutura cristalina dos tungstatos é fortemente influenciada pelo tamanho iônico do cátion A^{2+} , permitindo a formação de diferentes arranjos estruturais principalmente dos tipos scheelita e volframita os quais afetam diretamente suas propriedades funcionais. A fase scheelita apresenta simetria tetragonal (grupo espacial $\text{I4}_1/\text{a}$, nº 88) e é favorecida quando o raio iônico de A^{2+} excede $1,0 \text{ \AA}$, como ocorre em Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Pb^{2+} e Eu^{2+} . Nessa configuração, o cátion divalente encontra-se em coordenação 8 com oxigênios, enquanto o W^{6+} está disposto em um tetraedro WO_4 [1, 3]. Já a fase volframita possui simetria monoclinica (grupo espacial $\text{P2}/\text{c}$, nº 13), sendo energeticamente mais estável quando o raio iônico de A^{2+} é inferior a $1,0 \text{ \AA}$, como nos íons Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} e Cd^{2+} , onde tanto o cátion metálico quanto o tungstênio apresentam coordenação octaédrica [1, 3].

Além dessas estruturas principais, há exceções notáveis decorrentes de efeitos eletrônicos específicos [2, 4]. O efeito Jahn-Teller no CuWO_4 , por exemplo, conduz à formação de uma estrutura triclinica, enquanto pares de elétrons não ligantes em SnWO_4 originam polimorfos cúbicos relacionados à scheelita [4]. Outros casos incluem o HgWO_4 , de simetria monoclinica ($\text{C2}/\text{c}$), e as transições de fase induzidas por alta pressão, como observado em CaWO_4 e BaWO_4 , que podem alternar entre as fases scheelita e volframita [2, 4].

Entre os tungstatos do tipo volframita, destacam-se o NiWO_4 e o CoWO_4 . O primeiro é reconhecido por suas propriedades eletrônicas, ópticas e vibracionais, exploradas em supercapacitores, fotocatalisadores e cintiladores [4]. O segundo se sobressai por sua elevada estabilidade térmica, propriedades ópticas e magnéticas, baixa toxicidade e caráter ambientalmente benigno, despertando interesse em aplicações como sensores, baterias e eletrocatalisadores [5, 6].

O acoplamento entre esses dois materiais, seja por heterojunção ou dopagem, tem revelado efeitos sinérgicos promissores. Ma et al. [7] sintetizaram nanoestruturas de $\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{WO}_4$ suportadas em tecido de carbono pelo método hidrotérmico, obtendo excelente desempenho eletroquímico em supercapacitores. Miao et al. [8] desenvolveram nanocompósitos $\text{NiWO}_4@\text{CoWO}_4$ dopados com fósforo em espumas de níquel, resultando em alta capacitância específica e estabilidade cíclica. Tang et al. [9] prepararam compósitos amorfos de NiWO_4 dopados com Co, alcançando capacitância de 804 F g^{-1} a 10 A g^{-1} . González-Cortés et al. [10], por sua vez, obtiveram óxidos $\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{WO}_4$ via combustão em matriz de ureia, aplicando-os na hidrodesnitrogenação de piridina. Adicionalmente, Alharti et al. [11] promoveram a heterojunção $\text{NiWO}_4/\text{CoWO}_4$, alcançando 97,42% de eficiência fotocatalítica na degradação de paracetamol. Outros avanços incluem a preparação de nanoarrays de CoWO_4 dopados com Ni para oxidação de ureia [12] e a inserção de íons de Co na rede do NiWO_4 , que elevou sua condutividade elétrica e desempenho em dispositivos microeletrônicos [13].

Um desafio recorrente, contudo, é o desempenho fotocatalítico limitado de NiWO_4 e CoWO_4 , em razão da elevada taxa de recombinação dos pares e^-/h^+ fotogerados [14]. Para superar essa limitação, a formação de heterojunções ou heteroestruturas tem se mostrado uma estratégia eficaz, favorecendo a separação de cargas e o aprimoramento da atividade fotocatalítica [15]. Diversas combinações já foram propostas, como $\text{CoWO}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4$ para degradação de diazinon [16], nanotubos $\text{CoWO}_4/\text{CdWO}_4$ com Ag plasmônico para degradação de levofloxacin [17], $\text{WO}_3/\text{NiWO}_4$ para degradação de azul de meti

Metodologia

Materiais

Os materiais de partida utilizados para síntese das heteroestruturas $\text{CoWO}_4//\text{AgCl}$ e $\text{NiWO}_4//\text{AgCl}$ foram: $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (99%, ImportNow), $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (98%, Sigma-Aldrich), $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (97%, Sigma-Aldrich), NaCl (99%, Dinâmica), AgNO_3 (99%, Dinâmica) e água destilada.

Síntese

Para a síntese de CoWO_4 puro, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ foram adicionados à 20 ml de H_2O em um béquer, sob agitação magnética, formando a solução A. Enquanto isso, a solução B foi composta pela diluição de $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em H_2O em um béquer, sob agitação magnética. A solução A foi vertida na solução B, formando um precipitado lilás. Após 30 min de agitação, a solução resultante foi colocada em uma autoclave revestida com Teflon e introduzida no interior de um micro-ondas. O precipitado obtido foi lavado inúmeras vezes com água, para remoção de impurezas, e seco em estufa. Os pós obtidos foram posteriormente tratados termicamente em um forno tipo mufla. Para síntese de NiWO_4 puro, os mesmos procedimentos acima foram adotados, apenas alterando a fonte precursora, que é $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Após, uma certa quantidade de NiWO_4 ou CoWO_4 preparado anteriormente, será adicionada à solução C. Passado 30min sob agitação magnética, AgNO_3 será adicionado à solução C para formar, por co-precipitação, heteroestruturas XWO_4/AgCl ($\text{X}=\text{Ni}$ ou Co). O precipitado obtido será lavado inúmeras vezes com água, para remoção de impurezas, e seco em estufa à 100°C durante 24h.

Caracterizações e testes

Os pós de $\text{CoWO}_4//\text{AgCl}$ e $\text{NiWO}_4//\text{AgCl}$ foram estruturalmente caracterizados por difração de raios X utilizando difratômetro (D2 Phaser - Bruker, com radiação $\text{Cu-K}\alpha$) na faixa 2θ de 5° a 120° , com velocidade $1^\circ/\text{min}$. O aspecto morfológico e a composição química das partículas foram observadas utilizando microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (FEG-SEM) (Supra 35-VP, Carl Zeiss, Alemanha), acoplada com Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS). As propriedades ópticas de absorção e determinação de Band Gap foram obtidas por meio do espectrofotômetro UV-Vis UV-2600 (Shimadzu) o mesmo utilizado para a análise de fotodegradação dos corantes, Violeta cristal (10 ppm), Verde malaquita (10ppm) e rodamina B assim como o fármaco levofloxacino (10ppm), os testes foram realizados com 30 minutos no escuro e 60 minutos sob luz uv ou solar totalizando 90 minutos de teste com retirada de alíquotas a cada 15 minutos.

Resultados e Discussões

A caracterização estrutural dos compostos $\text{CoWO}_4/\text{AgCl}$ e $\text{NiWO}_4//\text{AgCl}$ foi realizada por meio de difração de raios-X (DRX), conforme ilustrado na Fig. 1. Os padrões de difração obtidos para CoWO_4 foram indexados a uma estrutura cristalina monoclinica, pertencente ao grupo espacial $\text{P2}_1/\text{c}$ (n° 13), em concordância com o ICSD 15851 [20]. De modo análogo, os difratogramas relativos ao NiWO_4 foram atribuídos à mesma estrutura monoclinica ($\text{P2}_1/\text{c}$), conforme indicado na carta ICSD 15852 [20]. Para o AgCl , observou-se uma estrutura cristalina cúbica, do tipo $\text{Fm}3\text{m}$ (n° 225), fato que corrobora com o que é apresentado no ICSD 56538 [21].

Os resultados de DRX (Figura 1) evidenciaram a formação das heteroestruturas $\text{CoWO}_4/\text{AgCl}$ e $\text{NiWO}_4/\text{AgCl}$ sem detecção de fases secundárias: todos os picos presentes nos difratogramas podem ser atribuídos exclusivamente às fases CoWO_4 (ou NiWO_4) e AgCl , indicando a coexistência das duas e a formação de heteroestruturas estáveis e bem integradas. Esse comportamento é semelhante ao observado para o sistema $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{AgCl}$, onde o DRX mostrou apenas os picos das fases constituintes, sem fases indesejadas, corroborando a pureza da heteroestrutura formada [22].

As medidas de espectroscopia na região do UV-vis foram realizadas no modo reflectância difusa e, em seguida, transformadas em valores de absorbância através da aplicação da equação de Kubelka-Munk (Equação 2).

$$=(1-R)22R \text{ (Equação 2)}$$

Em que α representa o coeficiente de absorção e R é a medida de reflectância. Posteriormente, os valores de bandgap (E_{gap}) foram estimados a partir da equação Wood e Tauc (Equação 3):

$$h\nu = (h\nu - E_{\text{gap}})^2 \quad (\text{Equação 3})$$

O termo h expressa a constante de Planck, ν é a frequência e n é uma constante que representa a natureza de transição eletrônica do material: $n = 1/2$, para transições permitidas diretas, enquanto $n = 2$ para transições permitidas indiretas. Para os materiais investigados neste estudo, adotou-se o modelo de transição indireta [5, 23]. Volframitas com estrutura AWO_4 cujo cátion A é divalente e com subcamadas d não preenchidas demonstram ter lacunas indiretas [5].

Em face disso, a observação da Figura 2a revela o espectro de absorção das amostras sintetizadas, o qual exibe uma banda de absorção ampla e intensa na região abaixo de 400 nm. A presença dessa banda de absorção nessa região sugere que a transferência de cargas origina-se do cluster $[\text{WO}_6]^{6-}$, resultante da transição dos elétrons do orbital $2p$ do oxigênio para o orbital $5d$ do tungstênio, promovida pela absorção de radiação UV [24, 25].

Agora analisando a Figura 2b-f apresenta os valores de bandgap para os semicondutores CoWO_4 e NiWO_4 , sendo 3.21 eV e 3.28 eV, respectivamente, em concordância com os dados reportados na literatura [26, 27]. O bandgap do AgCl obtido por espectroscopia de reflexão difusa foi de 3,14 eV, ligeiramente inferior aos valores indiretos reportados na literatura (3,25–3,28 eV). Essa diferença pode ser atribuída a fatores experimentais, como dispersão de partículas, defeitos superficiais e interações com o meio, típicos de amostras em pó. Além disso, estudos indicam que a redução do tamanho de partícula em nanomateriais pode levar a alterações na densidade de estados eletrônicos, resultando em uma diminuição do bandgap observado [28]. Para o $\text{CoWO}_4/\text{AgCl}$ ocorreu o esperado, uma redução do bandgap em comparação com o composto puros que pode estar relacionada a uma maior sobreposição entre os orbitais, o que promove um alargamento das bandas eletrônicas e, conseqüentemente, a diminuição da energia de bandgap [29]. O contrário do que foi visto na heteroestrutura $\text{NiWO}_4/\text{AgCl}$ que embora os valores individuais de bandgap de NiWO_4 (3,28 eV) e AgCl (3,14 eV) sugiram uma possível redução quando combinados, a heteroestrutura $\text{NiWO}_4/\text{AgCl}$ apresentou um bandgap ligeiramente maior (3,37 eV). Esse aumento não esperado pode ser explicado por efeitos de interação entre as fases constituintes, modulação da estrutura eletrônica local e possíveis tensões cristalinas geradas na interface da heterojunção. Fenômenos semelhantes são discutidos na literatura de heterojunções semicondutoras, onde a formação de interfaces fortes pode levar a deslocamentos positivos do bandgap, dependendo do alinhamento de bandas e do acoplamento interfacial [30]. Esses efeitos reforçam que o aumento observado em $\text{NiWO}_4/\text{AgCl}$ é compatível com os princípios de engenharia de bandgap em sistemas heterojuncionais, mesmo quando os componentes individuais apresentam valores menores de bandgap.

Para a realização dos testes de fotodegradação, foram inicialmente avaliadas as heteroestruturas e as estruturas puras em três diferentes corantes: Verde Malaquita (MG), Rodamina B (RhB) e Violeta Cristal (CV), além do fármaco levofloxacino. Todos os poluentes foram empregados na mesma concentração de 10 ppm. Os ensaios

foram conduzidos sob irradiação UV, com o propósito de analisar o comportamento inicial em cada poluente.

A Figura 3 demonstra que, em todos os cenários, a heteroestrutura NWO/AgCl apresenta a maior eficiência. No entanto, especificamente para o corante Violeta Cristal, observa-se que os compostos puros (NWO e CWO) exibem uma melhor capacidade de adsorção do corante. Apesar disso, o efeito fotocatalítico desses compostos puros é significativamente baixo, indicando que a formação das heteroestruturas foi altamente eficaz. Embora o NWO/AgCl tenha um alto valor de bandgap, o composto conseguiu absorver a luz UV de maneira muito eficiente, evidenciando a alta eficiência de heteroestruturas formadas por esses compostos [11].

Com o intuito de simular melhor as condições reais de um sistema poluído, uma mistura de todos os contaminantes estudados foi preparada ainda na mesma concentração de 10 ppm e seu espectro foi registrado na figura 4.

É possível visualizar a presença de todas as absorbâncias características dos diferentes poluentes, assim tornando possível acompanhar todo o processo de degradação [31]. para analisar o comportamento isolado do mix na presença de luz e a intensidade da sua degradação natural pela luz (fotólise) foi realizado o teste durante 1 hora sob luz UV e também 1h sob luz solar.

Com base nas observações realizadas (figura 5), constata-se que a exposição à luz solar desempenha um papel crucial na fotólise do mix, tornando este quesito um fator de grande relevância a ser considerado em análises futuras. A efetividade da fotólise sob luz solar sugere que a degradação do material é significativamente acelerada ou intensificada na presença de radiação ultravioleta e luz visível [32]. Diante do exposto, a próxima etapa consiste na análise da degradação no mix com as duas heteroestruturas.

Conforme o esperado, ao analisar a figura 6 é possível constatar que, em ambos os catalisadores, o desempenho otimizado foi observado na degradação sob irradiação solar. Este fenômeno é atribuído ao fato de que a luz solar, além de emitir radiação ultravioleta, também abrange comprimentos de onda até o infravermelho, o que beneficia ambas as estruturas, conforme ilustrado na Figura 2a. Adicionalmente, o NWO/AgCl demonstrou ser o catalisador de melhor desempenho em todos os cenários, mesmo que as análises de bandgap e espectro UV-Vis tivessem indicado uma menor propensão para tal; a análise prática, contudo, evidenciou o resultado oposto.

A fotocatalise com NiWO_4 tem sido amplamente explorada em heteroestruturas. Por exemplo, Ge et al. [33] desenvolveram microsferas Z-scheme $\text{NiWO}_4/\text{WO}_3$ que apresentaram melhorias marcantes na degradação de azul de metileno, atribuindo o desempenho à eficiente separação de portadores de carga. Outro sistema eficaz é o composto ternário $\text{NiWO}_4\text{-ZnO-NRGO}$, que demonstrou até nove vezes mais atividade fotocatalítica na degradação de azul de metileno em comparação com NiWO_4 puro [34]. Sistemas contendo AgCl também são promissores: a junção $\text{Ag@AgCl/g-C}_3\text{N}_4$, por exemplo, alcançou alta performance fotocatalítica na degradação de corantes sob luz visível, graças ao efeito plasmônico do Ag e à separação eficaz de cargas [35]. Esses exemplos reforçam que a heteroestrutura $\text{NiWO}_4/\text{AgCl}$ apresenta um potencial

real de desempenho superior, combinando características dos tungstatos com o comportamento plasmônico do AgCl.

Conclusão

A rota sintética adotada permitiu a obtenção de heteroestruturas NiWO₄/AgCl e CoWO₄/AgCl estáveis e livres de fases secundárias, evidenciando a eficiência do método hidrotérmico assistido por micro-ondas. A análise estrutural confirmou a cristalização adequada, enquanto os espectros UV-Vis revelaram modificações no bandgap, associadas ao efeito de acoplamento eletrônico e à tensão interfacial entre os semicondutores.

Nos ensaios fotocatalíticos, observou-se que a presença do AgCl, quando acoplado aos tungstatos, contribuiu para uma separação mais eficiente dos pares elétron-buraco e ampliou a absorção na região do visível, o que favoreceu a atividade fotocatalítica. A heteroestrutura NiWO₄/AgCl destacou-se, apresentando maior eficiência frente à degradação dos poluentes estudados, em especial da Rodamina B e do fármaco levofloxacin, alcançando taxas superiores às obtidas pelos óxidos isolados.

Esses resultados reforçam a importância do design racional de heteroestruturas na busca por novos fotocatalisadores, capazes de aliar estabilidade, eficiência e baixo custo. Além disso, apontam que os tungstatos dopados ou acoplados a haletos metálicos como o AgCl constituem uma plataforma versátil para futuras aplicações ambientais, particularmente no tratamento de efluentes industriais contendo corantes e resíduos farmacêuticos persistentes. Em termos práticos, a superioridade do NiWO₄/AgCl frente ao CoWO₄/AgCl evidencia que a escolha da fase metálica do tungstato exerce papel determinante na eficiência global do processo fotocatalítico, abrindo caminho para estudos mais aprofundados de engenharia de bandas e otimização da razão entre as fases.

Referências

- [1] A. Kuzmin, J. Purans, Local atomic and electronic structure of tungsten ions in AWO₄ crystals of scheelite and wolframite types, *Radiation measurements*, 33 (2001) 583-586.
- [2] M. Patnaik, P. Yadav, E. Rout, A. Yadav, S. Jha, M. Tyagi, A comprehensive study on the structural, radioluminescence and thermoluminescence properties of scheelite and wolframite type tungstates, *Radiation Physics and Chemistry*, 223 (2024) 111957.
- [3] P. Yadav, P.D. Bhuyan, S. Rout, Y. Sonvane, S.K. Gupta, E. Sinha, Correlation between experimental and theoretical study of scheelite and wolframite-type tungstates, *Materials Today Communications*, 25 (2020) 101417.

- [4] S. Garg, K. Pandey, V. Srihari, D. Errandonea, N. Garg, High pressure structural phase transition in wolframite NiWO_4 , *Journal of Alloys and Compounds*, 1025 (2025) 180273.
- [5] E. Bandiello, P. Rodríguez-Hernández, A. Muñoz, M.B. Buenestado, C. Popescu, D. Errandonea, Electronic properties and high-pressure behavior of wolframite-type CoWO_4 , *Materials Advances*, 2 (2021) 5955-5966.
- [6] V. Vinothkumar, R. Sakthivel, S.-M. Chen, T.H. Kim, Facile design of wolframite type CoWO_4 nanoparticles: A selective and simultaneous electrochemical detection of quercetin and rutin, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 922 (2022) 116774.
- [7] H. Ma, Z. Shen, Z. Peng, S. Guan, X. Fu, Carbon cloth supported $\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{WO}_4$ nanostructures for high-performance electrochemical capacitor electrodes, *Journal of Alloys and Compounds*, 845 (2020) 155654.
- [8] W. Miao, Q. Han, H. Zhang, K. Chen, L. Zhang, Y. Li, S. Han, Uniform phosphorus doped $\text{CoWO}_4@ \text{NiWO}_4$ nanocomposites for asymmetric supercapacitors, *Journal of Alloys and Compounds*, 877 (2021) 160301.
- [9] J. Tang, H. Xu, Y. Chen, Y. Zhu, Effect of Co^{2+} Doping on Electrochemical Properties of Nickel Metal Tungstate (NiWO_4) Positive Material, *Electronic Materials Letters*, 20 (2024) 459-473.
- [10] S.L. González-Cortés, T.-C. Xiao, P.M. Costa, S.M. Rodolfo-Baechler, M.L. Green, Relevance of the $\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{WO}_4$ wolframite-type mixed oxide compositions on the synthesis and catalytic properties of W-based carbides, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 238 (2005) 127-134.
- [11] F.A. Alharthi, A.A. Alshayiqi, W.S. Al-Nafaei, A. El Marghany, H.S. Alanazi, I. Hasan, Synthesis of nanocrystalline metal tungstate $\text{NiWO}_4/\text{CoWO}_4$ heterojunction for UV-light-assisted degradation of paracetamol, *Catalysts*, 13 (2023) 152.
- [12] N. Chen, Y. Wang, X. Du, X. Zhang, Facile synthesis of Ni doped CoWO_4 nanoarrays grown on nickel foam substrates for efficient urea oxidation, *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (2021) 25114-25120.
- [13] H. Hitha, S. Kuriakose, F. Xavier, S.K. Stephen, M. John, T. Varghese, Effect of cobalt doping on the dielectric properties and electrical conductivity of nickel tungstate, *Materials Today: Proceedings*, (2023).
- [14] M. Hao, X. Meng, Y. Miao, Synthesis of NiWO_4 powder crystals of polyhedron for photocatalytic degradation of Rhodamine, *Solid State Sciences*, 72 (2017) 103-108.
- [15] K. Yin, Z. Yan, N. Fang, W. Yu, Y. Chu, S. Shu, M. Xu, The synergistic effect of surface vacancies and heterojunctions for efficient photocatalysis: A review, *Separation and Purification Technology*, (2023) 124636.

- [16] T.M. Anh, T.-D. Pham, N.M. Viet, D.T.N. Anh, N.T.D. Cam, N. Van Noi, D.N. Nhiem, C.N. Chau, T.T.V. Ha, N.M. Phuong, Investigation of Diazinon degradation via advanced photocatalysis of CoWO₄/g-C₃N₄ Z scheme heterojunction with addition of H₂O₂, *Chemical Physics*, 579 (2024) 112166.
- [17] F. Rong, Y. Xue, W. Tang, Q. Lu, M. Wei, E. Guo, Y. Pang, Visible-light-active 1D Ag-CoWO₄/CdWO₄ plasmonic photocatalysts boosting levofloxacin conversion, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 133 (2022) 104267.
- [18] T. Thilagavathi, D. Venugopal, D. Thangaraju, R. Marnadu, B. Palanivel, M. Imran, M. Shkir, M. Ubaidullah, S. AlFaify, A facile co-precipitation synthesis of novel WO₃/NiWO₄ nanocomposite with improved photocatalytic activity, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 133 (2021) 105970.
- [19] H.-c. Gu, Y.-b. Tang, F.-y. Chen, M.-y. Li, W.-l. Shi, Preparation of a novel composite g-C₃N₄/TiO₂/NiWO₄ with enhanced photocatalytic activity toward the degradation of rhodamine B, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33 (2022) 14581-14592.
- [20] G. Lautenschläger, H. Weitzel, T. Vogt, R. Hock, A. Böhm, M. Bonnet, H. Fuess, Magnetic phase transitions of MnWO₄ studied by the use of neutron diffraction, *Physical Review B*, 48 (1993) 6087.
- [21] Chen, D., Yoo, S. H., Huang, Q., Ali, G., & Cho, S. O. (2012). Sonochemical synthesis of Ag/AgCl nanocubes and their efficient visible-light-driven photocatalytic performance. *Chemistry – A European Journal*, 18(17), 5192–5200.
- [22] Brahimi, B., Mekatel, E., Baaloudj, O. et al. High Photocatalytic Activity of the Heterojunction Photocatalyst CoFe₂O₄/AgCl for Efficient Photodegradation of Solophenyl Red 3BL Dye in Water. *Water Air Soil Pollut* 233, 347 (2022).
- [23] D. Errandonea, F. Rodriguez, R. Vilaplana, D. Vie, S. Garg, B. Nayak, N. Garg, J. Singh, V. Kanchana, G. Vaitheeswaran, Band-gap energy and electronic d–d transitions of NiWO₄ studied under high-pressure conditions, *The Journal of Physical Chemistry C*, 127 (2023) 15630-15640.
- [24] H. Hitha, M. John, S. Kuriakose, A. Jose, T. Varghese, Structural modifications and extended optical properties of Ni_{1-x}CoxWO₄ nanoparticles, *Journal of Solid State Chemistry*, 290 (2020) 121546.
- [25] H. Harshan, K.P. Priyanka, A. Sreedevi, A. Jose, T. Varghese, Structural, optical and magnetic properties of nanophase NiWO₄ for potential applications, *The European Physical Journal B*, 91 (2018) 287.
- [26] S.M. Mane, A.M. Teli, S.A. Bknalkar, J.C. Shin, J. Lee, Unveiling the Effect of Solution Concentration on the Optical and Supercapacitive Performance of CoWO₄ Nanoparticles Prepared via the Solvothermal Method, *Inorganics*, 12 (2024) 203.
- [27] F. Rosal, A. Gouveia, J. Sczancoski, P. Lemos, E. Longo, B. Zhang, L. Cavalcante,

Electronic structure, growth mechanism, and sonophotocatalytic properties of sphere-like self-assembled NiWO₄ nanocrystals, *Inorganic Chemistry Communications*, 98 (2018) 34-40.

[28] GLAUS, Stephan; CALZAFERRI, Gion. The band structures of the silver halides AgF, AgCl, and AgBr: A comparative study. *Photochemical & Photobiological Sciences*, v. 2, n. 4, p. 398–401, 2003.

[29] M. Jeyakanthan, U. Subramanian, R. Tangsali, Enhanced photoluminescence of CoWO₄ in CoWO₄/PbWO₄ nanocomposites, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29 (2018) 1914-1924.

[30] ESHETE, M.; DI LIBERTO, G. Modeling heterojunctions: a computational chemistry perspective. *J. Mater. Chem. A*, v. 13, p. 10265–10283, 2025. DOI: 10.1039/D5LF00104H.

[31] CASTRO, M. A. M.; MORAIS, D. F. S.; OLIVEIRA, R. A.; TEODORO, M. D.; SILVA, U. C.; MOTTA, F. V.; BOMIO, M. R. D. Study of the influence of phase transformations of the biogenic Hydroxyapatite/Nb₂O₅ heterostructure on the photodegradation of different dye mixtures under sunlight irradiation. *Materials Science in Semiconductor Processing*, v. 192, art. 109400, 2025.

[32] SEN, S.; DAS, C.; GHOSH, N. N.; BAILDYA, N.; BHATTACHARYA, S.; KHAN, M. A.; SILLANPÄÄ, M. Is degradation of dyes even possible without using photocatalysts? – a detailed comparative study. *RSC Advances*, v. 12, p. 34335–34345, 2022.

[33] GE, Jianhua; SUN, Yangang; CHEN, Weiwei; SONG, Fengge; XIE, Yu; ZHENG, Yuanyuan; RAO, Pinhua. Z-scheme heterojunction based on NiWO₄/WO₃ microspheres with enhanced photocatalytic performance under visible light. *Dalton Transactions*, v. 50, n. 39, p. 13801–13814, 2021.

[34] SADIQ, M. M. J.; SHENOY, U. S.; BHAT, D. K. NiWO₄–ZnO–NRGO ternary nanocomposite as an efficient photocatalyst for degradation of methylene blue and reduction of 4-nitrophenol. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, v. 109, p. 124–133, 2017.

[35] ZHANG, Shouwei; LI, Jiaying; WANG, Xiangke; HUANG, Yongshun; ZENG, Meiyi; XU, Jinzhang. In sit

Anexos

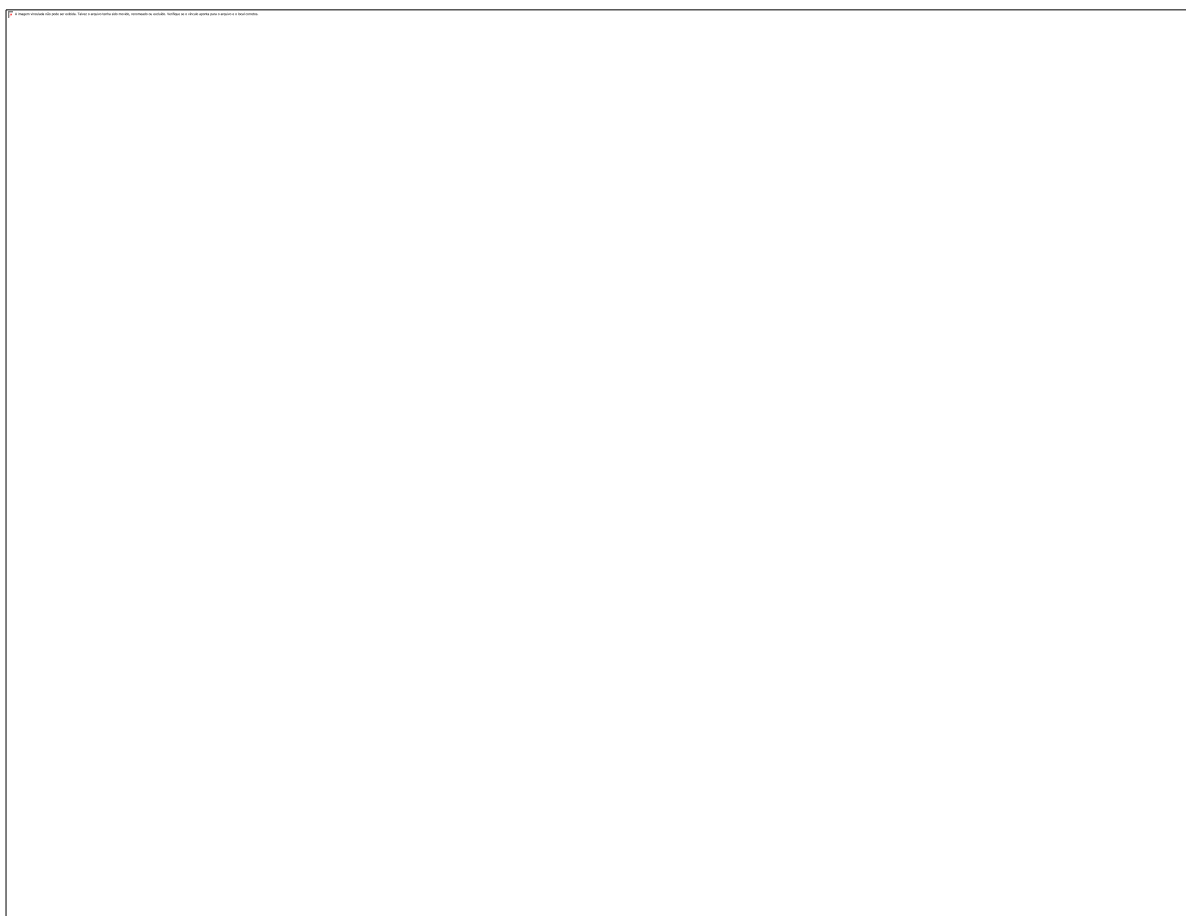


Figura 1: Difrátogramas de raios X (DRX) para as amostras de CoWO_4 (CWO), NiWO_4 (NWO), as heteroestruturas $\text{CoWO}_4/\text{AgCl}$ (CWO₂₀%AgCl) e $\text{NiWO}_4/\text{AgCl}$ (NWO₂₀%AgCl), juntamente com os padrões de referência ICSD para

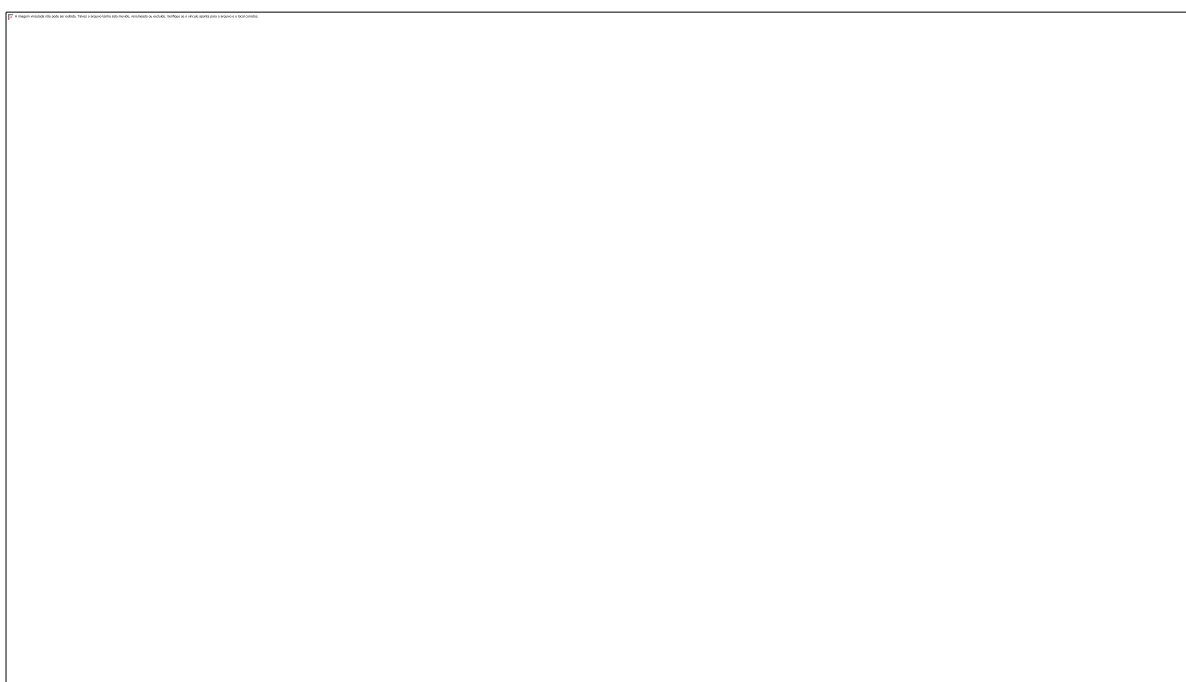


Figura 2: Análise óptica das amostras

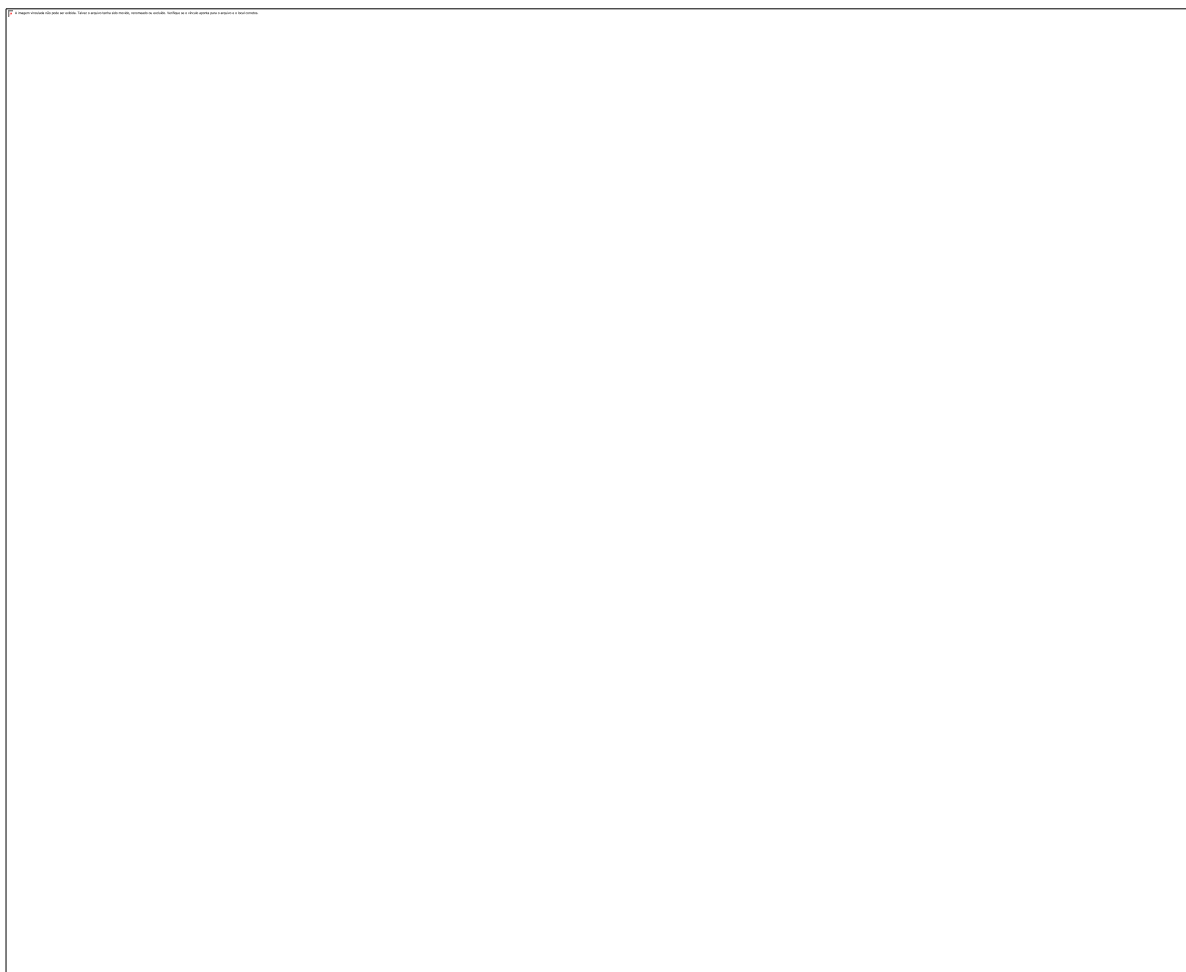


Figura 3: Gráficos da degradação fotocatalítica sob luz UV dos seguintes poluentes: a) Verde Malaquita (MG). b) Rodamina B (RhB). c) Violeta Cristal (CV). d) Levofloxacino (LEVO).

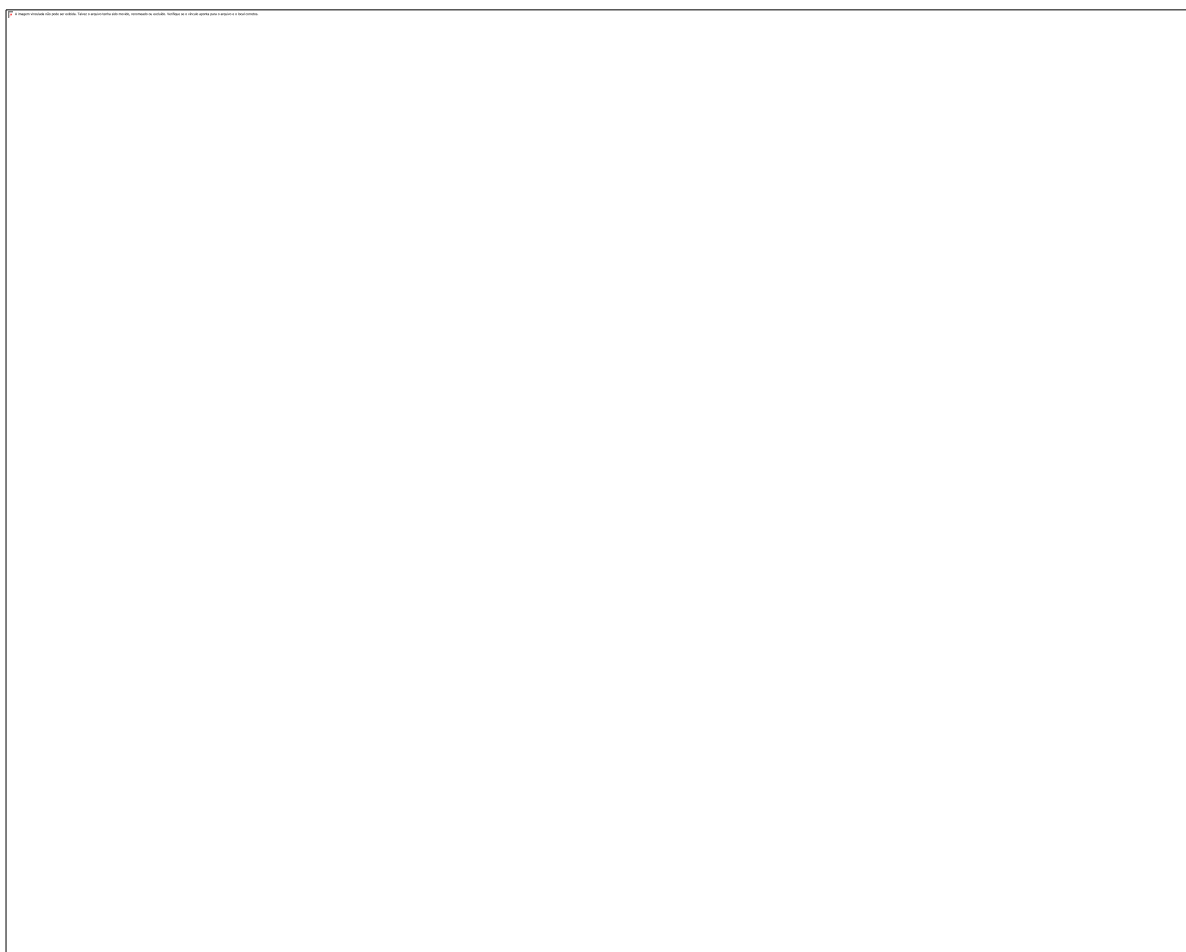


Figura 4: Espectros de absorbância na região UV-Vis para os poluentes individuais — Verde Malaquita (GM), Violeta Cristal (CV), Rodamina B (RhB) e Levofloxacino (LEVO) — e para a mistura contendo os quatro contaminantes (MIX4)

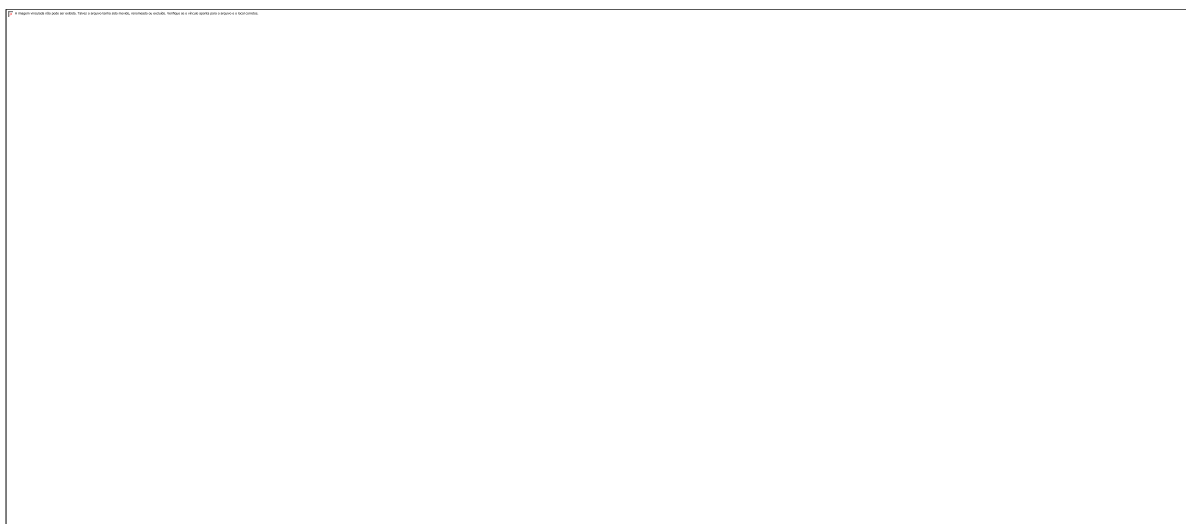


figura 5: Análise da fotólise (degradação apenas pela luz, sem catalisador) da mistura de poluentes (MIX4) ao longo de 60 minutos. a) Fotólise sob irradiação de luz UV. b) Fotólise sob irradiação de luz solar.

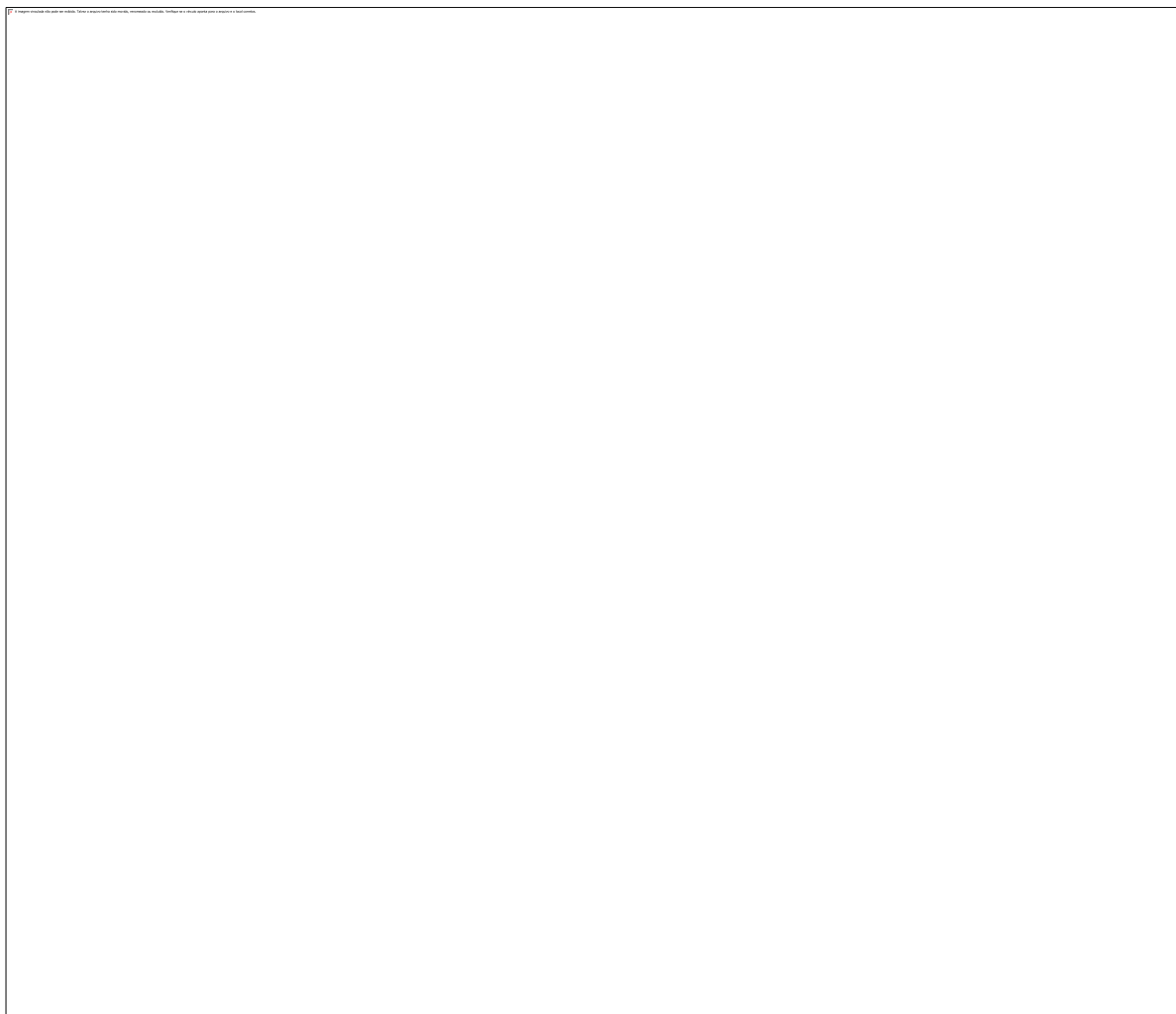


Figura 6 Gráficos da degradação fotocatalítica da mistura de poluentes (MIX4) ao longo de 60 minutos, após 30 minutos de adsorção no escuro.

CÓDIGO: ET0587

AUTOR: TEREZA BEATRIZ FREITAS GURGEL

ORIENTADOR: MAURICIO ROBERTO BOMIO DELMONTE

TÍTULO: Caracterização da Eficiência Eletroquímica de Eletrodos de Óxidos Metálicos Laminares do Tipo P2 Revestidos com Niobato de Sódio para Aplicações em Baterias de Íons Sódio

Resumo

O crescente interesse por tecnologias de armazenamento de energia tem impulsionado o estudo de baterias de íons sódio (BIS) como alternativa sustentável às de íons lítio (BIL). Um dos principais desafios das BIS é a instabilidade estrutural dos cátodos laminares do tipo P2, causada por transições de fase e pelo efeito Jahn-Teller, que comprometem o desempenho eletroquímico. Nesse contexto, o revestimento superficial desponta como estratégia promissora. Este trabalho avalia o efeito do recobrimento com niobato de sódio (NaNbO_3) puro e em 2% sobre eletrodos P2. Os óxidos laminares são sintetizados por co-precipitação seguida de tratamento térmico, e o revestimento é obtido com ponteira ultrassônica, utilizando resina de NaNbO_3 , álcool etílico e o óxido lamelar. As amostras serão caracterizadas por difração de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), e avaliadas por ciclagem galvanostática, voltametria cíclica e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS). Estudos prévios indicam que o NaNbO_3 melhora a difusão de Na^+ , reduz a resistência interfacial e favorece a reversibilidade nos ciclos de carga e descarga. Assim, espera-se que os eletrodos revestidos apresentem maior estabilidade estrutural e melhor desempenho em relação aos não modificados, contribuindo para o desenvolvimento de materiais catódicos mais eficientes e sustentáveis para BIS.

Palavras-chave: baterias de íons sódio; óxidos P2; niobato de sódio; eletroquímica

TITLE: Electrochemical Efficiency of P2-Type Layered Oxide Electrodes Coated with Sodium Niobate for Sodium-Ion Batteries

Abstract

The growing demand for energy storage technologies has driven research on sodium-ion batteries (SIBs) as a sustainable alternative to lithium-ion batteries (LIBs). A major challenge for SIBs lies in the structural instability of P2-type layered cathodes, caused by phase transitions and Jahn-Teller distortions, which limit electrochemical

performance. In this context, surface coating emerges as a promising strategy. This study evaluates the effect of sodium niobate (NaNbO_3) coatings, in pure form and at 2%, on P2-type layered oxide electrodes. The layered oxides are synthesized by co-precipitation followed by thermal treatment, and the coating is applied using an ultrasonic probe with sodium niobate resin, ethanol, and the oxide. Samples will be structurally and morphologically characterized by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM), and electrochemically tested by galvanostatic cycling, cyclic voltammetry, and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). Previous studies indicate that NaNbO_3 improves Na^+ diffusion, reduces interfacial resistance, and enhances reversibility during cycling. Therefore, coated electrodes are expected to present greater structural stability and improved electrochemical performance compared to uncoated samples, contributing to the development of more efficient and sustainable cathode materials for SIBs.

Keywords: sodium-ion batteries; P2 oxides; sodium niobate; electrochemistry

Introdução

O avanço das tecnologias de armazenamento de energia é essencial para atender à crescente demanda global por fontes renováveis intermitentes, como a energia solar e eólica. As baterias de íons lítio (BIL) se consolidaram como padrão devido à sua alta densidade de energia e longa vida útil, mas a limitação de recursos naturais, concentrados em regiões geopolíticas específicas, eleva custos e compromete sua viabilidade em larga escala. Neste cenário, as baterias de íons sódio (BIS) surgem como alternativa promissora por utilizarem matéria-prima abundante, de baixo custo e ambientalmente mais viável, ainda que apresentem densidade energética inferior às BIL [2,4].

Um dos principais desafios para viabilizar as BIS está na obtenção de materiais catódicos que combinem alta capacidade específica, boa estabilidade estrutural e reversibilidade durante a ciclagem. Dentre os candidatos, os óxidos metálicos lamelares do tipo P2 destacam-se pela elevada capacidade teórica e pelo maior teor de sódio intercalado em relação às fases P2 [2,8]. Entretanto, esses materiais sofrem complexas transições de fase, intensificadas pelo efeito Jahn-Teller de íons como Mn^{3+} , resultando em degradação estrutural e instabilidade eletroquímica [7].

Para mitigar tais limitações, diferentes estratégias vêm sendo investigadas, entre as quais dopagens e revestimentos superficiais. O uso de revestimentos é particularmente atrativo, pois atua como barreira protetora, reduz a reatividade da superfície e melhora a difusão de íons [2,5]. Nesse contexto, o niobato de sódio (NaNbO_3) se destaca como revestimento funcional, devido à sua elevada estabilidade estrutural, forte ligação metal-oxigênio e capacidade de reduzir a resistência interfacial. Estudos recentes, como o de Lavela et al. (2024), demonstraram que eletrodos P2 revestidos com NaNbO_3 apresentam melhoria significativa na difusão de Na^+ , maior estabilidade estrutural e melhor desempenho eletroquímico em comparação às amostras não revestidas. Diante disso, este trabalho propõe a síntese, caracterização estrutural e eletroquímica de eletrodos P2 modificados com NaNbO_3 puro e em 2%, a fim de investigar sua eficiência eletroquímica e potencial aplicação em BIS.

Metodologia

A metodologia proposta envolve a síntese dos óxidos lamelares do tipo P2 e seu subsequente revestimento com niobato de sódio (NaNbO_3), com proporções de 0% e 2%.

1- Síntese dos óxidos do tipo P2:

A primeira solução com 100 mL de água destilada e nitrato de Manganês e Nitrato de Níquel dissolvidos e a segunda solução com 50mL de água destilada com acetato de sódio dissolvido.

Verteve a solução com Acetato de Sódio por gotejamento na solução com Manganês e Níquel.

O método de co-precipitação será empregado para obtenção do precursor, seguido de pré-calcinação a 450 °C por 3 h e calcinação a 900 °C por 12 h em forno convencional.

2- Revestimento com NaNbO_3 :

O recobrimento será realizado com auxílio de ponteira ultrassônica, utilizando resina de niobato de sódio, álcool etílico e óxido lamelar.

Após a dispersão homogênea, as amostras serão submetidas a tratamento térmico a 700 °C, garantindo a formação da camada protetora de NaNbO_3 na superfície do P2.

3. Caracterização estrutural e morfológica:

Difração de Raios X (DRX): identificação das fases cristalinas e análise de parâmetros de rede.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDX): análise morfológica e mapeamento químico da superfície.

Espectroscopia Raman e XPS: análise da estrutura local e estados de oxidação.

4. Caracterização eletroquímica:

As amostras serão preparadas como eletrodos catódicos em meias-células de sódio, utilizando metal Na como contra-eletródo.

Ciclagem galvanostática: medição da capacidade específica e estabilidade em diferentes densidades de corrente.

Voltametria cíclica (VC): avaliação dos processos redox e reversibilidade.

Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS): análise da resistência interfacial e cinética de transporte iônico.

Resultados e Discussões

Os estudos de Lavela et al. (2024) demonstraram que a aplicação de revestimentos de NaNbO_3 em eletrodos do tipo P2 promoveu ganhos significativos de desempenho eletroquímico. A amostra revestida com 2% de NaNbO_3 apresentou maior estabilidade estrutural e capacidade de taxa aprimorada em comparação à amostra sem revestimento. O NaNbO_3 revestido por 5%, por sua vez, evidenciou comportamento estável, mas com desempenho inferior em capacidade específica, indicando que pequenas quantidades de recobrimento são mais eficazes para otimizar o equilíbrio entre estabilidade e eficiência eletroquímica.

Do ponto de vista estrutural, o revestimento reduziu a ocorrência de transições de fase abruptas e favoreceu a manutenção da integridade cristalina ao longo da ciclagem. A microscopia revelou uma distribuição homogênea do NaNbO_3 na superfície dos eletrodos, o que contribuiu para a redução da resistência interfacial, conforme confirmado pelas análises de EIS.

Esses resultados sustentam a hipótese de que o recobrimento parcial com NaNbO_3 é capaz de melhorar a cinética de difusão de íons sódio e reduzir efeitos deletérios associados ao efeito Jahn-Teller, representando uma solução eficiente para o desenvolvimento de catodos de alto desempenho em BIS.

Conclusão

O estudo destaca o potencial do revestimento com niobato de sódio (NaNbO_3) como estratégia eficiente para otimizar o desempenho de eletrodos P2 em baterias de íons sódio. Os resultados da literatura indicam que a adição de 2% de NaNbO_3 é mais eficaz do que o uso do material puro, proporcionando melhor reversibilidade, estabilidade estrutural e capacidade de taxa.

Espera-se que a execução experimental deste projeto confirme tais tendências, consolidando o NaNbO_3 como material promissor no desenvolvimento de cátodos sustentáveis e de alto desempenho para BIS, contribuindo para avanços tecnológicos no armazenamento de energia.

Referências

- [1] DELMAS, C.; FOUASSIER, C.; HAGENMULLER, P. Structural classification and properties of the layered oxides. *Physica B+C*, v. 99, p. 81-85, 1980.
- [2] YUAN, T. et al. A high-rate, durable cathode for sodium-ion batteries: Sb-doped O3-type Ni/Mn-based layered oxides. *ACS Nano*, v. 16, p. 18058-18070, 2022.
- [3] SHEN, Y. et al. Achieving structurally stable O3-type layered oxide cathodes through site-specific cation-anion co-substitution for sodium-ion batteries. *Journal of Energy Chemistry*, v. 93, p. 411-418, 2024.
- [4] LI, X. et al. O3-type cathodes for sodium-ion batteries: recent advancements and future perspectives. *Batteries & Supercaps*, v. 7, e202300618, 2024.
- [5] ZHANG, Z. et al. Dual-strategy of Cu-doping and O3 biphasic structure enables Fe/Mn-based layered oxide for high-performance sodium-ion batteries cathode. *Journal of Power Sources*, v. 567, 232930, 2023.
- [6] YU, J. et al. Trace Ti/Mg co-doped O3-type layered oxide cathodes with enhanced kinetics and stability for sodium-ion batteries. *Applied Surface Science*, v. 649, 159121, 2024.
- [7] ZHAO, C. et al. High-entropy layered oxide cathodes for sodium-ion batteries. *Angewandte Chemie International Edition*, v. 59, p. 264-269, 2020.
- [8] PATAT, Ş. et al. A novel air-stable O3-type layered oxide cathode material with low Ni content for sodium-ion batteries. *Int. J. Energy Res.*, v. 46, p. 22025-22037, 2022.
- [9] LAVELA, P. et al. Improving the performance of the layered nickel-manganese oxide cathode of sodium-ion batteries by NaNbO_3 surface coating. *Journal of Power Sources*, v. 616, 235432, 2024.

CÓDIGO: ET0588

AUTOR: FERNANDA ABREU SOARES

COAUTOR: LAYSSA CRISTINE ALVES

ORIENTADOR: OSVALDO CHIAVONE FILHO

TÍTULO: Aplicação do Equilíbrio de Fases nos Processos de Fracionamento de Produtos da Pirólise

Resumo

A dependência dos combustíveis fósseis contribui com a poluição atmosférica, prejudicando o meio ambiente. O bio-óleo é uma alternativa renovável para suprir a demanda de energia atual, obtido por meio da pirólise da biomassa, pode desempenhar o papel de substituto parcial do petróleo na obtenção de combustíveis em biorrefinarias e mitigar as emissões de gases de efeito estufa. Este estudo visa compreender o comportamento das misturas presentes no bio-óleo, de modo a dar suporte ao projeto e a otimização de operações industriais voltadas ao seu aproveitamento energético. Os experimentos foram conduzidos em ebuliômetro do tipo Othmer modificado, com caracterização das fases por densimetria e cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/MS). Os resultados indicaram que o etanol concentra-se majoritariamente na fase vapor, enquanto os compostos pesados do bio-óleo permanecem na fase líquida, confirmando sua baixa volatilidade. Conclui-se que o equilíbrio líquido-vapor é uma ferramenta eficaz para o fracionamento seletivo dessas misturas, contribuindo para o desenvolvimento de processos de separação mais eficientes em escala industrial.

Palavras-chave: óleo de eucalipto, equilíbrio líquido-vapor, etanol, ebuliômetro

TITLE: Application of Phase Equilibrium in Pyrolysis Product Fractionation Processes

Abstract

Dependence on fossil fuels contributes to air pollution, harming the environment. Bio-oil is a renewable alternative to meet current energy demand, obtained through biomass pyrolysis. It can partially replace petroleum in obtaining fuels in biorefineries and mitigate greenhouse gas emissions. This study aims to understand the behavior of the mixtures present in bio-oil in order to support the design and optimization of industrial operations focused on its energy use. The experiments were conducted in a modified Othmer-type ebulliometer, with characterization of the phases by densimetry and gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC/MS). The results indicated that ethanol is mainly concentrated in the vapor phase, while the heavy compounds of bio-oil remain in the liquid phase, confirming their low volatility. It is concluded that liquid-vapor equilibrium is an effective tool for the selective fractionation of these mixtures, contributing to the development of more efficient separation processes on an industrial scale.

Keywords: eucalyptus oil, liquid vapor equilibrium, ethanol, ebulliometer

Introdução

Ao longo das últimas décadas, o petróleo tem sido mantido como uma das principais fontes de energia e atualmente continua desempenhando papel fundamental na indústria. No entanto, sua demanda em larga escala provoca impactos ambientais significativos. De acordo com dados citados por Almeida (2023), a queima de combustíveis fósseis para consumo de energia é responsável por 80% das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, os principais gases do efeito estufa. Nesse contexto, a biomassa surge como alternativa promissora para mitigar esses impactos, por se tratar de uma fonte renovável de energia.

No contexto do aproveitamento dessa biomassa, a pirólise gera produtos como biocombustíveis e bio-óleo, este último com propriedades físicas e energéticas comparáveis às do diesel. Após adequado processamento, pode ser empregado como combustível em fornos ou destinado à produção de outros insumos (MELO, 2014). A pirólise ocorre por meio da decomposição térmica da biomassa, em altas temperaturas, na ausência ou presença controlada de oxigênio, resultando na formação de uma mistura de gases, líquidos e resíduos sólidos. Os compostos voláteis são resfriados para a obtenção do bio-óleo, enquanto o resíduo sólido é denominado bio-carvão (FÉLIX et al., 2018).

No Brasil, a indústria de papel e celulose utiliza majoritariamente o eucalipto como matéria-prima. Durante o processo produtivo, gera-se uma quantidade expressiva de resíduos sólidos: para cada tonelada de celulose obtida, aproximadamente 800 kg de subprodutos são formados, incluindo lama de cal, lodo ativado, cinzas de caldeira e casca. Esta última corresponde à maior fração desses resíduos e parte dela já é empregada na geração de energia (RODRIGUES, 2018). Contudo, por se tratar de uma biomassa lignocelulósica rica em compostos de interesse, a casca também pode ser destinada a processos termoquímicos, como a pirólise, possibilitando a obtenção de bio-óleo de eucalipto. Assim, o aproveitamento desses resíduos amplia o uso do eucalipto e viabiliza a produção de bio-óleo, um insumo de grande relevância energética e química.

As biorrefinarias representam uma solução sustentável para o processamento de biomassa lignocelulósica, como a casca de eucalipto, convertendo-a em biocombustíveis e produtos de alto valor agregado. Segundo Cardoso et al. (2023), tecnologias como fermentação, pirólise e gaseificação são amplamente utilizadas nessas unidades, destacando-se o etanol como principal produto. No Brasil, empresas como GranBio e Raízen já adotam esse modelo, alinhando-se à economia circular e reduzindo impactos ambientais. Para viabilizar esses processos, o fracionamento eficiente dos produtos derivados da biomassa exige o domínio de propriedades termodinâmicas fundamentais, em especial o equilíbrio líquido-vapor dos componentes envolvidos.

Para otimizar o processo de pirólise e o fracionamento do bio-óleo em uma biorrefinaria, é fundamental compreender o equilíbrio líquido-vapor (ELV), que ocorre quando uma fase líquida e sua fase de vapor coexistem em condições estáveis, sem alteração das composições, temperatura e pressão do sistema. A análise do equilíbrio de fases leva em conta fatores como temperatura, pressão, características químicas e proporções dos constituintes da mistura, sendo a termodinâmica a base para descrever como essas variáveis se relacionam e se ajustam até que diferentes fases coexistam de maneira estável em equilíbrio (FREITAS et al., 2016).

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo investigar o equilíbrio líquido-vapor do sistema bio-óleo de eucalipto e etanol, de modo a compreender como as interações entre os componentes influenciam a distribuição das fases. Esse estudo contribui para o melhor aproveitamento do bio-óleo em processos de biorrefinaria, favorecendo sua aplicação como fonte renovável de energia e insumos químicos de interesse industrial.

Metodologia

Para assegurar a exatidão dos dados obtidos e garantir aplicação de modelos termodinâmicos, todos os equipamentos utilizados na medições de pressão, temperatura e densidade foram calibrados. A calibração dos termômetros foi realizada utilizando temperaturas de referência, ponto de fusão e ebulição da água (0 °C e 100 °C, respectivamente) e pontos de ebulição da acetona e do etanol (56 °C e 78,3 °C, respectivamente). O medidor de pressão foi operado nas faixas de pressão entre 1011 mbar até 300 mbar e a leitura dos valores no sensor durante a calibração foi comparada com os valores calculados pela equação de Antoine nas temperaturas de referência. Os testes foram realizados no ebulliômetro tipo Othmer. Para a calibração da densidade das misturas binárias, construiu-se uma curva de concentração em função da densidade, a partir da análise de soluções de etanol e bio-óleo na faixa entre 70% a 95% mássico em etanol.

A cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/MS) foi utilizada na caracterização do bio-óleo, pois alia a alta seletividade da cromatografia à capacidade

da espectrometria de massas de fornecer informações estruturais (CHIARADIA et al., 2008). A análise da amostra por CG/MS é fundamental, uma vez que os componentes são separados cromatograficamente e cada pico obtido é correlacionado a um espectro de massas, o qual fornece a massa molecular do composto identificado (QUEIROZ et al., 2015).

Os experimentos de equilíbrio líquido-vapor (ELV) foram realizados em um ebulliômetro do tipo Othmer modificado (figura 1), no qual a mistura bio-óleo/etanol foi aquecida até o início da ebulição sob controle de pressão por bomba de vácuo e válvula manual. O sistema experimental foi montado de forma a permitir o aquecimento controlado da mistura, a medição precisa das variáveis e a manutenção das condições necessárias ao equilíbrio líquido-vapor. Para isso, o ebulliômetro foi conectado a uma fonte de aquecimento regulável e assistido por um agitador magnético, garantindo a homogeneidade do meio. O vapor gerado percorre a célula de equilíbrio e, ao entrar em contato com o condensador, é condensado por banho termostático a 5 °C, retornando ao refeedor e permitindo sua recirculação contínua.

As temperaturas das fases líquida e vapor foram acompanhadas por sensores digitais, enquanto o controle da pressão do sistema foi assegurado por bomba de vácuo acoplada a um regulador manual e a um manômetro digital. Para evitar reações indesejadas com o ar atmosférico, a operação ocorreu sob atmosfera inerte de nitrogênio, controlada por um manifold que distribuía o fluxo de gás. Elementos auxiliares, como suportes, materiais isolantes e conexões vedadas, foram incorporados para garantir a estabilidade e segurança do experimento. O equilíbrio foi identificado pela estabilização simultânea das leituras de temperatura das fases e da taxa de gotejamento do condensado.

Finalizada a separação das fases líquida e vapor no ebulliômetro, as amostras foram analisadas por diferentes técnicas a fim de validar o equilíbrio e caracterizar o sistema. A densidade da fase líquida foi determinada por densimetria, parâmetro sensível à concentração e à temperatura, que auxilia na identificação de variações de composição. Os constituintes voláteis da fase vapor foram avaliados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/MS), permitindo a separação e quantificação de compostos, inclusive em baixas concentrações. Além disso, a termogravimetria (TG) foi empregada para investigar o comportamento térmico das amostras, possibilitando observar volatilidade relativa, resíduos não evaporáveis e eventuais decomposições.

Além da etapa experimental, este estudo também prevê a modelagem do equilíbrio líquido-vapor (ELV) utilizando métodos termodinâmicos como UNIQUAC e UNIFAC, reconhecidos pela aplicação em sistemas não ideais. Essa análise computacional será realizada posteriormente, com o objetivo de avaliar a capacidade dos modelos em

representar os dados experimentais e fornecer suporte para o entendimento das interações entre bio-óleo e etanol.

Resultados e Discussões

Os resultados de calibração (figura 2) mostraram excelente ajuste dos dados experimentais, com valores de R^2 próximos de 1, confirmando a confiabilidade das medições. O termômetro garantiu leituras consistentes de temperatura, enquanto o manômetro calibrado em múltiplos pontos assegurou precisão na faixa de pressões analisada. Já o densímetro apresentou alta reprodutibilidade, essencial para determinar corretamente as propriedades volumétricas do sistema.

Os diagramas de equilíbrio líquido-vapor do sistema bio-óleo + etanol, obtidos em diferentes pressões com variações entre 400 a 1011 mbar (figura 3) apresentam a relação entre a temperatura de equilíbrio e as frações molares das fases líquida (x) e vapor (y) e evidenciam o comportamento esperado, o etanol tende a se concentrar na fase vapor devido à sua maior volatilidade. Observou-se que a redução da pressão levou a menores temperaturas de equilíbrio e que, em misturas com mais bio-óleo, a diferença entre as fases tornou-se mais acentuada, resultado da baixa volatilidade e da complexidade dos seus compostos.

A análise do equilíbrio líquido-vapor (ELV) entre etanol e bio-óleo de eucalipto revelou forte influência da composição inicial da mistura sobre o perfil volátil da fase gasosa (tabela 1). Em misturas com maior teor de bio-óleo, a fase vapor foi enriquecida principalmente por fenóis derivados da lignina, como guaiacol, siringol e cresol, confirmando a volatilidade relativa desses compostos, mesmo em uma matriz líquida complexa. À medida que a fração de bio-óleo diminuiu, observou-se maior presença de acetais, ésteres de ácidos graxos e compostos oxigenados, resultado de reações de acetalização e esterificação entre constituintes do bio-óleo e o etanol durante o equilíbrio térmico. Em condições ainda mais diluídas, os fenóis cederam espaço a ésteres metílicos de ácidos graxos, como estearato de metila e oleato metílico, reforçando o papel das transformações químicas na definição da composição da fase vapor.

Esse comportamento demonstra que o processo de ELV funciona não apenas como uma separação física, mas também como um fracionamento seletivo, favorecendo compostos mais voláteis e reativos. Além disso, a persistência de fenóis leves e a formação de novos produtos confirmam o potencial do bio-óleo como fonte de moléculas de interesse industrial. Fenólicos como guaiacol, cresol e siringol são amplamente

empregados na formulação de resinas, antioxidantes, e pesticidas, o que evidencia a relevância de sua recuperação por rotas de separação térmica. Assim, a análise comprova que além de combustível, o bio-óleo pode atuar como matéria-prima renovável para obtenção de insumos químicos de alto valor agregado.

As medições de densidade possibilitaram determinar a composição das fases em equilíbrio e compreender o comportamento termodinâmico do sistema (tabela 2). Os resultados mostraram que o bio-óleo permanece concentrado principalmente na fase líquida, devido à sua baixa volatilidade em comparação ao etanol. Esse efeito é ainda mais evidente quando a fração inicial de bio-óleo é elevada, indicando a retenção de compostos pesados, polares e estáveis nessa fase. Assim, o estudo demonstra que o ELV se apresenta como uma abordagem eficiente de fracionamento seletivo, concentrando os compostos mais pesados e estáveis na fase líquida, enquanto direciona para a fase vapor as espécies mais voláteis.

Conclusão

A calibração realizada garantiu precisão e reprodutibilidade às medições, minimizando incertezas experimentais. Esse procedimento assegura a confiabilidade dos dados de pressão e composição de fases, essenciais para a análise do equilíbrio líquido-vapor (ELV) e para a validação de modelos termodinâmicos aplicados em processos de separação.

A análise da fase vapor mostrou que a composição varia conforme a proporção dos componentes: misturas mais ricas em bio-óleo apresentaram predominância de fenóis, enquanto as mais diluídas em etanol foram marcadas por ésteres e acetais. Esse comportamento confirma a baixa volatilidade do bio-óleo e evidencia seu potencial para fracionamento térmico e geração de insumos químicos de valor agregado. Os diagramas de equilíbrio líquido-vapor (ELV) obtidos em diferentes pressões mostraram resultados consistentes, com o etanol concentrando-se na fase vapor e os compostos do bio-óleo permanecendo na fase líquida, validando o procedimento experimental. Esses dados são fundamentais para o aprimoramento de modelos termodinâmicos e para o desenvolvimento de processos de separação em escala industrial.

Como etapa complementar, está em andamento a caracterização das fases líquida e vapor por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/MS), com o intuito de identificar e quantificar os compostos presentes após o equilíbrio. Além disso, será realizada a modelagem termodinâmica por meio dos modelos UNIQUAC e

UNIFAC, o que permitirá comparar os resultados experimentais com previsões teóricas e aprofundar a compreensão das interações moleculares no sistema bio-óleo/etanol.

Referências

CHIARADIA, Mariza C.; COLLINS, Carol H.; JARDIM, Isabel C. S. F. O estado da arte da cromatografia associada à espectrometria de massas acoplada à espectrometria de massas na análise de compostos tóxicos em alimentos. *Química Nova*, Campinas, v. 31, n. 3, p. 623–636, 2008. doi:10.1590/S0100-40422008000300030.

ALMEIDA, Priscylla. O consumo de combustíveis fósseis e o alarmante efeito nos biomas brasileiros: avanços da matriz energética brasileira e os desafios no cenário atual das mudanças climáticas. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 75, n. 4, 2023. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252023000400017. Acesso em: 6 ago. 2025.

RODRIGUES, Letícia Demuner. Contribuições para o estudo da pirólise da casca de eucalipto. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2018.

CARDOSO, E. A., GALVÃO, V. A. N., SANTOS, V. L., OLIVEIRA, M. L., SANTOS, R. C., & PONTES, L. A. M. (2023). Uma Revisão acerca de biorrefinarias com base lignocelulósic: aspectos atuais. *Latin American Journal of Energy Research*, 10(1), 67–76. <https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n1.p67-76>

Félix, Camila & Júnior, Aroldo & Freitas, Carolina & Pires, Carlos & Teixeira, Victor & Frety, Roger & Brandao, Soraia. (2018). Pirólise rápida de biomassa de eucalipto na presença de catalisador Al-MCM-41. *Matéria* (Rio de Janeiro). 22. DOI: 10.1590/s1517-707620170005.0251.

DIEHL, Lisiane de Oliveira. Avaliação das características de bio-óleo e biochar produzidos por pirólise a partir de biomassas lignocelulósica. 2023. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, 2023.

PRAUSNITZ, J. M.; LICHTENTHALER, R. N.; AZEVEDO, E. G. *Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria* (3ª ed., Prentice Hall, 1999).

FOELKEL, Celso. As Biorrefinarias Integradas no Setor Brasileiro de Fabricação de Celulose e Papel. *Eucalyptus Online Book & Newsletter*. 2. ed. Cap 29, 2023. p. 6-242. Disponível em: [Eucalyptus Online Book_Capítulo -29-Biorrefinarias_celulose_papel_Revisão 8 2023](#). Acesso em: 7 ago. 2025.

MELO, Augusto César Cardoso de. Equilíbrio líquido-líquido aplicado à separação de produtos da pirólise de biomassa. 2014. 76f. Dissertação (Mestrado) – Universidade

Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2014.

Anexos

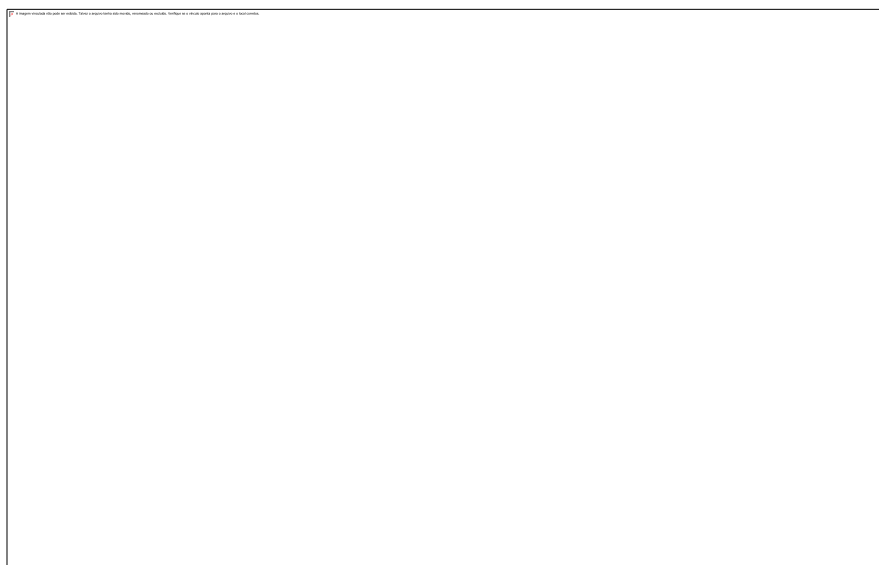


Figura 1- Esquema do ebulliômetro de Othmer modificado.



Figura 2 - Curvas de Calibração dos Instrumentos de Temperatura, Pressão e Densidade.

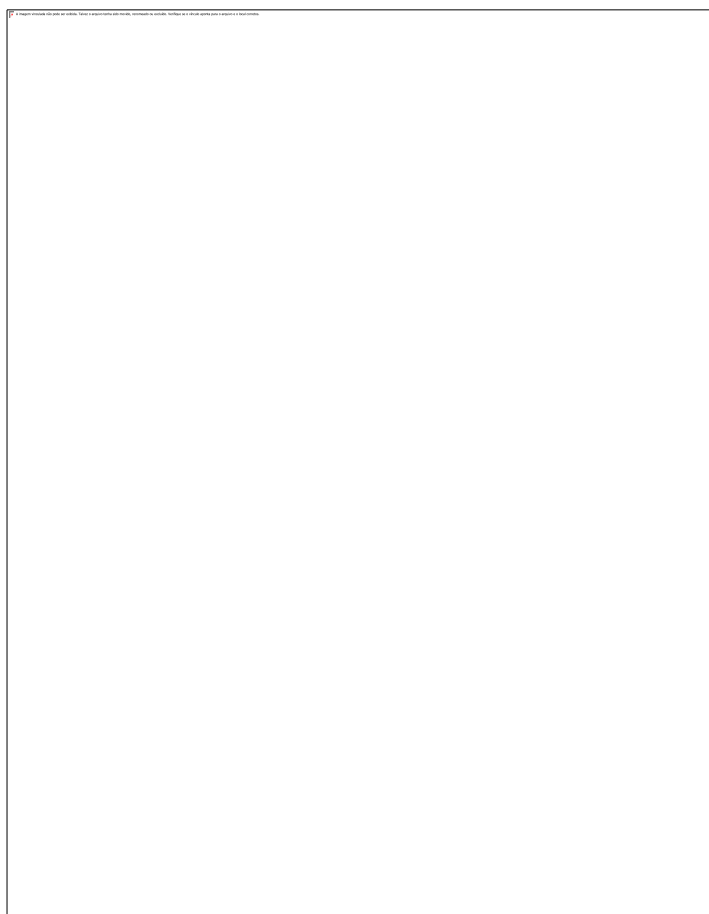


Figura 3 - Diagramas de Equilíbrio Líquido-Vapor (T-x-y) para o Sistema Bio-óleo de Eucalipto + Etanol em Diferentes Pressões.

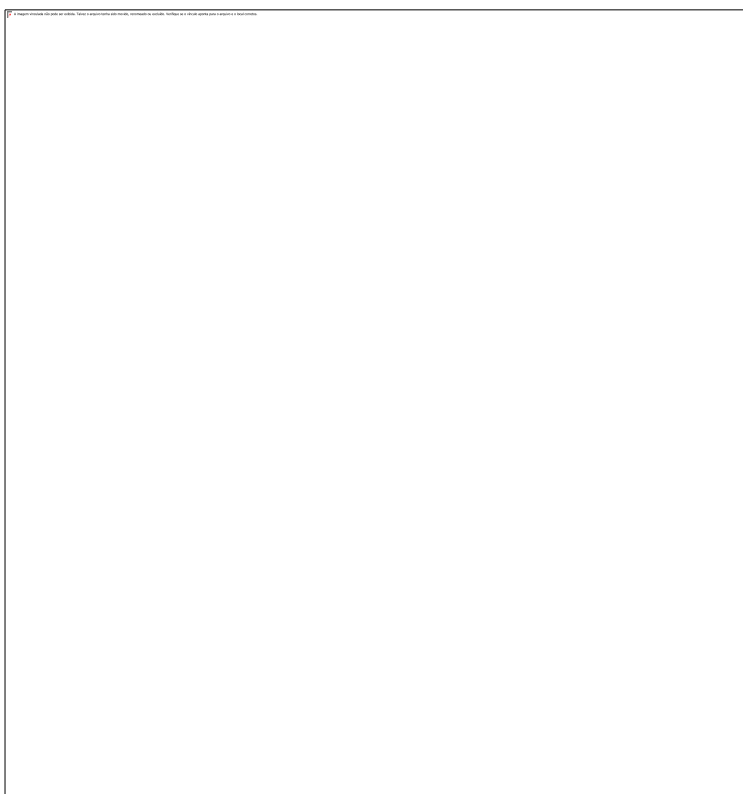


Tabela 1.Composição Química da Fase Vapor Identificada por CG/MS.



Tabela 2. Composições Iniciais e Finais do Experimento

CÓDIGO: ET0592

AUTOR: GABRIEL LUCAS DA SILVA AZEVEDO

ORIENTADOR: EVERALDO SILVINO DOS SANTOS

TÍTULO: Funcionalização da lignina extraída da fibra de coco verde para produção de nanopartículas de lignina e encapsulamento de pesticida agrícola

Resumo

A lignina desponta como alternativa promissora, especialmente no desenvolvimento de sistemas de liberação controlada de bioativos agrícolas. Trata-se do segundo biopolímero mais abundante da biosfera, produzido em milhões de toneladas por ano, mas ainda destinado majoritariamente à queima para geração de energia, com menos de 2% aproveitado em aplicações de maior valor agregado. O avanço nas pesquisas com nanopartículas de lignina (LNPs) abre novas perspectivas para a agroindústria. Dessa forma, o aproveitamento da lignina para a produção de nanocarreadores de bioativos representa uma estratégia sustentável, capaz de aumentar a eficiência dos compostos aplicados, reduzir perdas na cadeia produtiva e minimizar impactos ambientais. O experimento utilizou resíduo de coco verde, submetido a processos de pré-tratamento com hidróxido de sódio, seguido da extração da lignina. A partir desta foi testada formas diferentes de produção de nanopartículas para o encapsulamento de quercetina: anti solvente e atomização. O estudo demonstrou que a modificação química da lignina pelo método de acetilação demonstra maior interação com a quercetina, e também mostrou que o uso do atomizador em uma pressão alta mostrou um rendimento de encapsulamento maior devido a modificação do tamanho da partícula devido à pressão.

Palavras-chave: Lignina, espectrofotometria, difração de raios-X, atomização

TITLE: Functionalization of lignin extracted from green coconut fiber for the production of lignin nanoparticles and encapsulation of bioactive compounds

Abstract

Lignin emerges as a promising alternative, particularly in the development of controlled-release systems for agricultural bioactives. It is the second most abundant biopolymer in the biosphere, produced in millions of tons per year, yet it is still primarily used for energy generation through combustion, with less than 2% being utilized in higher value-added applications. Advances in research on lignin nanoparticles (LNPs) open new perspectives for the agro-industry. Thus, the use of lignin for the production of bioactive nanocarriers represents a sustainable strategy, capable of increasing the efficiency of applied compounds,

reducing losses along the production chain, and minimizing environmental impacts. The experiment employed green coconut residue, subjected to sodium hydroxide pretreatment followed by lignin extraction. From this lignin, different nanoparticle production methods were tested for quercetin encapsulation: antisolvent precipitation and spray drying. The study demonstrated that chemical modification of lignin via acetylation enhanced interaction with quercetin, and that the use of a spray dryer at high pressure resulted in higher encapsulation efficiency due to particle size modification induced by the pressure

Keywords: Lignin, spectrophotometry, X-ray diffraction, atomization

Introdução

Nos dias atuais há uma alta demanda de produção de alimentos sendo uma das maiores preocupações da humanidade do século XXI (Godfray et al., 2010), visto que no final de 2011, a população global ultrapassou o número de 7 bilhões de humanos, e a estimativa é de que em 2050 esteja entre 8,1 bilhões e 10,6 bilhões (UN, 2011). Assim, surge o questionamento em como assegurar a segurança alimentar do mundo no futuro sem sacrificar o planeta. Nesse contexto, de forma indireta, a lignina (Gigli et al., 2022) entra em cena, como uma possível solução para a aplicação controlada de defensivos agrícolas.

A lignina é o segundo biopolímero mais abundante na Terra, podendo ser obtida a partir da parede celular das plantas terrestres. Embora seja produzida em escala de milhões de toneladas, apenas cerca de 2% da lignina mundial é destinada a produtos de maior valor agregado, enquanto a maior parte ainda é queimada para geração de energia (Bajwa et al., 2019). Considerando a quantidade de lignina desperdiçada anualmente, estima-se que a produção global de resíduos agroindustriais alcance cerca de 1,3 bilhão de toneladas por ano (Gustavsson et al., 2011).

A lignina é um biopolímero tridimensional e amorfo, composto principalmente por unidades derivadas de três tipos de álcoois hidroxicinâmicos: p-hidroxifenil (H), guaiacila (G) e siringil (S). Esses monômeros se organizam de forma aleatória, o que dá à lignina sua forma tridimensional e complexa (Deise et al., 2022). A lignina apresenta elevada estabilidade térmica, mantendo resistência mesmo em altas temperaturas (Tsang et al. 2020). Além disso, pode ser quimicamente modificada, por exemplo, por meio da acetilação, processo que aumenta sua compatibilidade com outros polímeros e amplia seu potencial para diferentes aplicações químicas (Johansson et al., 2024).

Além de ser usada para a geração de energia, a lignina pode ser usada para diversos produtos alternativos. Na agroindústria, a conversão da lignina em nanoesferas (LNPs) abre novas perspectivas para sua aplicação em produtos de maior valor agregado. A obtenção de nanoesferas ocorre, em grande parte, por meio da micelização de soluções de lignina, processo análogo ao comportamento de polímeros anfífilos que originam nano-micelas em solventes seletivos. A formação das nanopartículas de lignina (LNPs) está relacionada a efeitos hidrofóbicos, mediados por fortes interações π - π e de van der Waals (Xiong et al., 2019). Nesse arranjo, a fração hidrofóbica da lignina (principalmente as unidades fenilpropanoides) tende a se auto-organizar formando o

núcleo coloidal em meio aquoso, enquanto a porção hidrofílica (essencialmente grupos hidroxila e carboxila) se dispõe externamente, originando a camada de recobrimento. Assim, as LNPs apresentam uma estrutura núcleo–casca com abundância de grupos funcionais expostos em sua superfície. O avanço dessa plataforma de materiais à base de lignina possibilita ampliar significativamente suas aplicações, uma delas, e principal uso, é a produção de nanocarreadores para bioativos com o intuito de promover uma agricultura mais sustentável sem o uso abusivo de químicos industriais prejudiciais ao meio ambiente e até mesmo ao consumidor final (Jiang et al., 2020).

A lignina acetilada, um subproduto gerado na indústria de papel, pode ter suas propriedades químicas ajustadas para aumentar sua afinidade com solventes e facilitar a formação de nanopartículas capazes de encapsular bioativos. Essas estruturas nanométricas permitem a liberação controlada dos bioativos, otimizando sua eficácia e minimizando significativamente a quantidade necessária de químico usado (Liang et al., 2022).

Metodologia

A seguir serão apresentados as principais metodologias, materiais, equipamentos e reagentes utilizados nos experimentos.

Materiais

Resíduo de coco verde;

Água destilada (H₂O);

Ácido Sulfúrico (H₂SO₄);

Hidróxido de Sódio (NaOH);

Moinho Willey, TE – 670, Tecnal;

Microscópio (Olympus BX51, Japão);

Autoclave;

Banho termostático;

CLAE;

Estufa;

Agitador do tipo Shaker;

Geladeira;

Agitador magnético;

Fluxo Laminar;

Centrífuga (5415 D, Eppendorf);

Potenciômetro (pHmetro);

Vidrarias de uso geral (béqueres, Erlenmeyers, balões volumétricos, cadinho, placa de petri, provetas, tubos de ensaio);

Tubos Falcon (15 mL e 50 mL);

Eppendorfs;

Pipetas e suas ponteiras.

Obtenção e Preparo do Coco

Após a coleta, as fibras foram armazenadas em sacos apropriados, fragmentadas em pedaços menores e cuidadosamente lavadas com água destilada para eliminar impurezas.

Posteriormente, o material foi seco em estufa com bandejas a 50°C por um período de 72 horas, triturado em moinho Willey (TE-670, Tecnal) e, finalmente, peneirado para obter partículas com granulometria de 48 mesh, seguindo o protocolo estabelecido por Nogueira (2017).

Pré-tratamento

O pré-tratamento da fibra de coco verde foi realizado com uma solução de hidróxido de sódio a 2,0% (m/v), utilizando a biomassa seca na proporção de 10% (m/v). Para isso, 20,0 g da fibra seca foram misturados a 200 mL da solução alcalina e submetidos a aquecimento em autoclave (Autoclave AV 137, Phoenix) por 1 hora a 121°C, conforme protocolos descritos por Nogueira (2021) e Sindhu et al. (2011). Após o tratamento, o licor residual foi separado e conservado para análises futuras, enquanto o material pré-tratado passou por seis lavagens com água corrente. Em seguida, a biomassa foi totalmente seca em estufa de câmara com bandejas a 60°C por 72 horas, preparando-a para etapas subsequentes do processamento.

Extração de Lignina

A extração da lignina a partir do primeiro licor de lavagem, obtido após o pré-tratamento com hidróxido de sódio, foi realizada seguindo o método descrito por Mancera et al. (2010). A lignina presente na solução foi precipitada pela redução do pH, por meio da adição de ácido sulfúrico (5,0 M) até atingir pH 2,0. Posteriormente, o material passou por três lavagens com água acidificada (pH 2,0), foi filtrado para isolamento da lignina e, finalmente, seco a 60°C por 24 horas.

Caracterização da biomassa e lignina

A caracterização da biomassa e da lignina, tanto in natura quanto após pré-tratamento com hidróxido de sódio, foi realizada utilizando Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Difração de Raios X (DRX) e análises físico-químicas.

Determinação de polissacarídeos, lignina, extraíveis e cinzas

A determinação dos teores de polissacarídeos, lignina, materiais extraíveis e cinzas foi conduzida de acordo com os protocolos estabelecidos pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL), amplamente utilizados em estudos de caracterização de biomassas lignocelulósicas (Sluiter et al., 2008). A quantificação de celulose e hemicelulose foi realizada por meio de hidrólise ácida, seguida da análise dos açúcares liberados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), conforme descrito por Segal et al. (1959) e amplamente aplicado em trabalhos de fracionamento de biomassa (Rabelo et al., 2019).

Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A análise por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foi conduzida em modo ATR (Attenuated Total Reflectance), na faixa espectral de 4000 a 500 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 32 varreduras por amostra. Técnica utilizada para identificar os principais grupos funcionais presentes na celulose, hemicelulose e lignina, além de avaliar alterações estruturais após pré-tratamentos químicos (Faix, 1991; Pandey & Pitman, 2003).

Difração de Raios-X (DRX)

A análise de difração de raios-X (DRX) foi realizada utilizando um difratômetro equipado com radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), no intervalo de 2θ entre 5° e 40° , com passo de $0,02^\circ$. Essa técnica permite a identificação das fases cristalinas e amorfas da celulose, fornecendo informações relevantes sobre o índice de cristalinidade. A determinação desse parâmetro é fundamental.

A análise termogravimétrica (TG) foi conduzida em termobalança sob atmosfera inerte de nitrogênio, com aquecimento programado de 25 a 800°C a uma taxa de $10^\circ\text{C}/\text{min}$. Essa técnica é amplamente utilizada para avaliar a estabilidade térmica de biomassas lignocelulósicas, permitindo identificar as diferentes etapas de degradação dos componentes, como hemicelulose, celulose e lignina.

Produção de Nanopartícula

A produção de nanopartículas da lignina se deu através das seguintes etapas.

Precipitação por Anti solvente

As nanopartículas de lignina foram preparadas pelo método de precipitação por antissolvente, conforme descrito por Pedro et al. (2024). Para isso, 1,0 g de lignina foi

dissolvida em 100 mL de PEG 400 e agitada por 24 horas à temperatura ambiente. Após esse período, a solução foi filtrada e, em seguida, adicionada gota a gota, por meio de bomba peristáltica, a 1 L de água acidificada com ácido sulfúrico (5,0 M), até alcançar pH 2,0. Por fim, as nanopartículas formadas foram lavadas e ressuspensas para uso posterior.

Acetilação de Lignina

Conforme reportado por Oliveira et al. (2020), em uma proporção de 1:50, lignina é misturada em solução ácida formada por ácido acético e ácido sulfúrico 1% (v/v), por 30 minutos, à 110°C, em agitação constante. Em seguida, a mistura é resfriada até temperatura ambiente, misturada com água acidificada (pH 2,0), em proporção 1:9, para precipitação da lignina acetilada. Após isso, o material é centrifugado e lavado com água acidificada.

Atomizador de partículas

O equipamento usado, é demonstrado na Figura 1 abaixo. As condições de operação que serão variadas são: tipo de lignina usada (tradicional e acetilada), pressão do gás e vazão da solução. O objetivo é

Resultados e Discussões

Neste capítulo serão apresentados os resultados experimentais obtidos e a discussão pertinente aos temas apresentados.

Caracterização das biomassas lignocelulósicas

No estudo atual, foram realizadas as caracterizações físico-químicas das biomassas não tratada (IN) e tratada com hidróxido de sódio a 2,0% (m/v) (HS), além de análise de difração de raios X (DRX) e análise por espectrofotometria no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).

Caracterização físico-química das fibras

As fibras de coco verde, analisadas tanto em sua forma in natura (sem tratamento) quanto após o tratamento alcalino (HS), foram caracterizadas quanto à composição de polissacarídeos (celulose e hemicelulose), lignina insolúvel, fração de extrativos e teor de cinzas, seguindo os protocolos estabelecidos pela NREL. Os resultados dessas análises estão organizados na Tabela 1. Na nomenclatura adotada, IN representa a biomassa sem tratamento, enquanto HS designa a biomassa submetida ao processo alcalino.

Tabela 1 - Caracterização físico-química da biomassa não-tratada e após os pré-tratamentos. As letras a e b foram utilizadas para comparar os valores obtidos, utilizando-se letras iguais para indicar resultados sem diferença significativa, considerando-se um intervalo de confiança de 95% ($p > 0.05$).

Amostra

Índice de Cristalinidade

(%)

Celulose

(%)

Hemicelulose

(%)

Lignina

(%)

Extraíveis

(%)

Cinzas

(%)

IN

27,58%

33,07±0,02c

14,63 ± 0,50a

36,05±1,54a

14,17±3,41a

2,11±0,04^a

HS

44,08%

38,11±0,53b

13,61 ± 0,54a

22,32±0,54b

6,62±0,68b

1,88±0,04^a

Os pré-tratamentos aplicados favoreceram a exposição da celulose nas fibras processadas, o que se refletiu em um aumento de seu teor em relação ao material in natura. No caso do tratamento com hidróxido de sódio (HS), a fração de celulose alcançou 38,11%, correspondendo a um acréscimo de aproximadamente 15% em comparação à biomassa sem tratamento.

Quanto à hemicelulose, foi observada uma leve diminuição após os tratamentos, embora sem diferenças expressivas em relação ao material original (IN). Já a lignina apresentou uma redução média de 35% após a etapa alcalina, resultado compatível com o mecanismo descrito por Rabelo et al. (2019), no qual a ação do hidróxido de sódio promove a ruptura das ligações éster entre hemicelulose e lignina, possibilitando a solubilização parcial desses constituintes no licor.

Além disso, o processo alcalino favoreceu o intumescimento da celulose e reduziu seu grau de polimerização, aumentando a acessibilidade da matriz para as enzimas, caso a biomassa pré-tratada seja usada para a produção de etanol de segunda-geração. Também foi observada a remoção de componentes facilmente extraíveis da fibra in natura, com redução próxima de 50% nesse parâmetro. A biomassa HS apresentou 6,62% de fração extraível residual.

No que se refere ao teor de cinzas, não foram verificadas alterações significativas entre as amostras analisadas, conforme apresentado na Tabela 1. Cabe destacar que os efeitos observados diferem, em magnitude, daqueles relatados por Ribeiro et al. (2022), o que pode estar relacionado às características da matéria-prima utilizada, já que, mesmo sendo coco verde, a origem e as condições de cultivo variam. De acordo com Rosa et al. (2001), diferentes substratos de uma mesma biomassa vegetal podem apresentar composições distintas.

Dessa forma, considerando um rendimento global de 69,31% para o pré-tratamento alcalino, os dados apresentados na Tabela 2 confirmam a expressiva remoção de lignina na biomassa HS, atribuída tanto ao efeito direto do hidróxido de sódio quanto à sequência de etapas aplicadas.

Tabela 2 - Retenção de celulose e remoção de lignina e hemicelulose na biomassa HS após o pré-tratamento.

Amostra

Retenção Remoção

Celulose (%)

Hemicelulose (%)

Lignina (%)

HS

79,87%

35,52%

57,09%

Análise por Espectrofotometria de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foi utilizada para investigar modificações nas ligações químicas presentes em biomassas, ligninas e lignossulfonatos após os diferentes pré-tratamentos aplicados. As análises contemplaram a amostra submetida ao tratamento alcalino com solução de hidróxido de sódio a 2,0% (m/v) – ensaio HS – e também a fibra in natura, empregada como referência para evidenciar as alterações estruturais decorrentes do processo (Figura 2).

Figura 2 - Análises de espectrofotometria de infravermelho por transformada de Fourier das biomassas lignocelulósicas IN (não-tratada), HS (alcalina).

Na faixa espectral identificada como região 2 (2850–2950 cm⁻¹), verificam-se bandas características das vibrações C–H (da Costa Filho, 2021). Já na região 3, destacam-se mudanças expressivas associadas à hemicelulose após o pré-tratamento alcalino. A banda denominada 3.2, em 1375 cm⁻¹, indica maior deformação das ligações C–H da celulose e hemicelulose, enquanto em 3.1, em 1737 cm⁻¹, está relacionada ao estiramento da ligação C=O da hemicelulose, modificada pelo processo alcalino (Kurian et al., 2015). Entre essas duas bandas, próximo de 1610 cm⁻¹, observa-se uma redução nos estiramentos C=O conjugados a sistemas aromáticos, sugerindo degradação parcial dessas estruturas e a consequente formação de grupos carbonila.

Por sua vez, a região 4, em torno de 1030 cm⁻¹, corresponde ao estiramento no carbono 6 das unidades de glicose da celulose, além de vibrações C–O atribuídas a grupos alcoólicos presentes no polissacarídeo (Kurian et al., 2015). Resultados análogos foram descritos por Ribeiro et al. (2022) e Nogueira (2017), apresentando perfis de transmitância comparáveis aos aqui observados, conforme ilustrado na Figura 2.

Análise por Difração de Raios-X (DRX)

A caracterização estrutural das fibras de coco verde, tanto in natura (IN) quanto submetidas ao tratamento alcalino (HS), foi realizada por meio de difração de raios X (Figura 3), possibilitando também o cálculo do índice de cristalinidade. Os difratogramas revelaram picos característicos da celulose em sua forma cristalina, enquanto as regiões de menor intensidade sinalizaram a fração amorfa do polímero (Nogueira, 2017).

Figura 3 - Difratograma das fibras de coco verde (a) in natura (IN); (b) alcalina (HS).

As mudanças observadas no grau de cristalinidade estão associadas à diminuição da rigidez da matriz lignocelulósica, resultante tanto da quebra parcial das cadeias de celulose quanto da remoção de lignina durante o pré-tratamento (da Costa Filho, 2021). Os índices obtidos foram de 27,58% para a fibra IN e 44,08% para a biomassa HS. Esse acréscimo, equivalente a aproximadamente 65%, evidencia o efeito do hidróxido de sódio, que promove não apenas a extração de lignina, mas também a reorganização das regiões cristalinas da celulose e a redução do seu grau de polimerização.

Caracterização da Lignina

A lignina extraída após o pré-tratamento HS (alcalino) foi analisada por FTIR e TG, para melhor compreender as modificações estruturais e diferenças entre elas.

Análise por Espectrofotometria de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A análise por FTIR das ligninas é um indicativo qualitativo da pureza e similaridade nas estruturas de ligninas advindas de diferentes processos. As similaridades presentes nos demais picos da Figura 4 são referentes a grupos funcionais que não se alteraram com os tratamentos.

Figura 4 - Análises de Espectrofotometria de Infravermelho por Transformada de Fourier das ligninas

De acordo com Panamgama e Peramune (2018), a faixa espectral situada entre 1400 e 1600 cm^{-1} (região 3) está relacionada às vibrações $\text{C}=\text{C}$ características dos anéis aromáticos presentes nas cadeias de fenilpropano. As bandas observadas entre 3445 e 3312 cm^{-1} (região 1) correspondem a grupos hidroxila, associados tanto a porções aromáticas quanto alifáticas da lignina. Já o sinal em 2917 cm^{-1} (região 2) é atribuído ao estiramento $\text{C}-\text{H}$ de grupos metila ($-\text{CH}_3$) e metileno ($-\text{CH}_2-$) das estruturas de fenilpropano.

Na região 4, que abrange o intervalo de 1300 a 830 cm^{-1} , são registradas absorções relativas a diversos grupos funcionais, incluindo o estiramento $\text{C}-\text{O}$ em unidades fenólicas, em éteres e nas subestruturas de guaiacil (G) e siringil (S) (Dziurzynski, Supinski & Surminski, 1988). O pico em 1213 cm^{-1} (4.1) é característico do estiramento $\text{C}-\text{O}$ das unidades guaiacílicas, presente na lignina alcalina, mas ausente na forma combinada. Já as bandas próximas de 1120–1035 cm^{-1} (4.2) podem estar relacionadas a deformações $\text{C}-\text{H}$ em anéis aromáticos, ao estiramento de grupos $\text{C}=\text{O}$, bem como a uma maior proporção de estruturas guaiacílicas em comparação às siringílicas (Dziurzynski, Supinski & Surminski, 1988).

Análise termogravimétrica (TG)

Para avaliar a perda de massa da lignina durante o aquecimento em atmosfera inerte, foram realizados ensaios de termogravimetria, cujos resultados estão apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Análise termogravimétrica das Ligninas D e E.

De acordo com Carvalho (2022), a lignina caracteriza-se por apresentar menor intensidade de variação na perda de massa em comparação a outros constituintes da biomassa, embora exiba uma faixa de degradação mais ampla e elevado resíduo final, evidenciando maior resistência térmica. Conforme descrito por Postawa et al. (2022) e Díez et al. (2020), o comportamento térmico pode ser dividido em quatro etapas: desidratação (até 120°C, associada à remoção de água livre); pirólise ativa (120–340°C, marcada pela degradação de compostos orgânicos de menor estabilidade); pirólise passiva (340–380°C, relacionada à decomposição de frações mais resistentes); e pirólise residual (acima desta faixa, quando ocorre a formação de produtos secundários e do resíduo carbonáceo).

Os extrativos apresentam degradação entre 200 e 400°C, sobrepondo-se às demais frações da biomassa, o que dificulta a distinção entre os eventos térmicos. Como mostrado na Figura 5, a lignina mantém maior estabilidade até cerca de 700°C, comportamento atribuído à diversidade de grupos oxigenados presentes, cada um com diferentes limites de estabilidade térmica. A decomposição inicia entre 150 e 275°C, principalmente pela ruptura de hidroxilas ligadas ao grupo benzílico. Até aproximadamente 250°C, observa-se um processo exotérmico de degradação, seguido por oscilações que refletem múltiplas etapas de pirólise, cada uma associada a diferentes entalpias (Carvalho, 2022).

Para a amostra HS, o ponto de degradação máxima foi identificado em torno de 535°C. De forma geral, quanto mais próxima a lignina se mantém de sua estrutura original, menor é sua estabilidade térmica.

Caracterização das Nanopartículas

A lignina foi analisada por meio de FTIR para averiguar se o encapsulamento foi bem sucedido.

Análise por Espectrofotometria de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A análise por FTIR foi realizada a fim de determinar as mudanças nas ligações químicas das estruturas (biomassas, ligninas e lignosulfonatos) em decorrência dos processos envolvidos nos pré-tratamentos das biomassas, tal qual se houve ou não o encapsulamento.

Figura 6 – Análise por Espectrofotometria de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) da lignina in natura (A), da lignina acetilada (B), da Nanocápsula de Lignina in natura (C) e nanocápsula de Lignina acetilada (D)

(A) (B)

(C) (D)

Como está a mostra na imagem acima, a região entre 3500 cm⁻¹ e 3300 cm⁻¹ é referente ao pico que mostra o estiramento de absorção dos grupos hidroxilas que são associados a quercetina pura, mostrando que nos gráficos da lignina in natura (A) e as nanocápsulas feita com a mesma (C), pode significar que a quercetina foi encapsulada

porém sem reação, enquanto na lignina acetilada (B) e sua nanocápsula (D), as hidroxilas da quercetina interagiram com os grupos -OH da lignina, evidenciadas pelo fato das hidroxilas não ficam mais livres para vibrar, causando a redução da intensidade do pico (Yanev et al., 2025). Os espectros de FTIR foram ajustados tomando como referência a banda de estiramento do anel aromático da lignina nativa, localizada em 1510 cm⁻¹. Além disso, surgiram novas bandas em aproximadamente 1750 cm⁻¹ e 950 cm⁻¹, atribuídas, respectivamente, ao estiramento de carbonilas (C=O) de ésteres e ao estiramento de ligações duplas (C=C) de natureza vinílica. Essas alterações no espectro reforçam a evidência de que houve a incorporação bem-sucedida dos anidridos maleicos (MAs) à estrutura da lignina, resultando em uma modificação química efetiva (Machado et al., 2020).

Análise do rendimento de encapsulamento

A Tabela 3 ilustra os rendimentos de amostras em duplicata para se obter o rendimento médio, variando sua pressão de produção, exceto para a LAQ, onde foi produzida usando o método de precipitação por anti solvente.

Tabela 3 – Rendimento de encapsulamento das ligninas acetilada (LA) e natural (LN), por atomizador e lignina acetilada por precipitação por anti solvente (LAQ).

Amostra

mcg/mL

Rendimento (%)

Rendimento médio (%)

Erro (%)

LA 1

204,02

20,40

20,12

0,2723

198,57

19,85

LA 1,5

387,60

38,76

38,53

0,2220

383,16

38,32

LN 1

148,27

14,82

13,96

0,8616

131,04

13,10

LN 1,5

137,53

13,75

12,95

0,7967

121,59

12,15

LAQ

72,99

7,299

7,288

0,011

72,77

7,277

A análise de rendimento mostrou que a maior porcentagem de encapsulamento ocorreu na produção usando uma pressão de 1,5 Bar com lignina acetilada, apresentando um rendimento de 38,53%, fato que pode ser relacionado a maior a um pico maior na região de 3500 cm⁻¹ e 3300 cm⁻¹, região a qual representa os grupos hidroxilas presente na substância, com maior número de hidroxilas disponíveis para ligação, ele foi capaz de se ligar de forma mais eficiente e numerosa a quercetina (Yanev et al., 2025), também pode se dar ao fato que ao aumentar a pressão para 1,5 Bar, a nanopartículas produzidas ficaram ainda menores, facilitando para a lignina acetilada encapsular a quercetina (Huang et al., 2012).

Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam o efeito expressivo do pré-tratamento alcalino com hidróxido de sódio (2,0% m/v) sobre as fibras de coco verde, evidenciado pela maior disponibilidade da celulose, pela redução significativa da lignina e pelas alterações observadas no grau de cristalinidade.

Comparações entre lignina natural, lignina acetilada e suas respectivas nanocápsulas mostraram diferenças importantes. Enquanto a lignina in natura encapsulou a quercetina sem interações químicas marcantes, a lignina modificada apresentou indícios de formação de ligações de hidrogênio, refletidos na diminuição da intensidade da banda associada às hidroxilas. O aparecimento de novas absorções, relacionadas a grupos carbonila (C=O) e duplas ligações (C=C), confirmou a incorporação de anidridos maleicos e a reorganização estrutural da matriz.

Os ensaios de eficiência de encapsulamento reforçaram esses achados: a lignina acetilada, processada por atomização sob pressão de 1,5 bar, apresentou rendimento de 38,53%, resultado associado tanto à maior disponibilidade de grupos funcionais reativos quanto à formação de partículas menores sob maior pressão. Dessa forma, fica evidente que a modificação química da lignina, aliada ao controle de parâmetros operacionais, influencia diretamente a eficiência do sistema nanoestruturado.

Referências

BAJWA, D. S. et al. A concise review of current lignin production, applications, products and their environmental impact. *Industrial Crops and Products*, v. 139, p. 111526, nov. 2019.

- BREBU, M.; VASILE, C. Thermal degradation of lignin – a review. *Cellulose Chemistry and Technology*, v. 44, n. 9, p. 353–363, 2010.
- CARVALHO, Gabriel B. Caracterização e avaliação do comportamento térmico de resíduos lignocelulósicos para produção de bioenergia. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2023. Disponível em:
<https://bdtd.ufm.edu.br/bitstream/123456789/1574/1/Dissert%20Gabriel%20B%20Carvalho.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- DA COSTA FILHO, J. D. B. Valorização de sabugo de milho: potencial para produção de etanol de segunda geração e uso de lignina residual da hidrólise enzimática como adsorvente de corante catiônico. 2021. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- DEISE, A.; SILVA, M. R.; PEREIRA, L. L. Lignina: uma importante tecnologia química da madeira. *e-Acadêmica*, v. 3, n. 3, p. e7233391, 2022.
- DENCE, C. W. The determination of lignin. In: LIN, S. Y.; DENCE, C. W. (ed.). *Methods in lignin chemistry*. Berlin: Springer, p. 33–61, 1992.
- DÍEZ, M. A.; et al. Estudo do comportamento térmico de ligninas de espécies de madeira dura e macia. 2020. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/312366411_Assessment_of_the_thermal_behavior_of_lignins_from_softwood_and_hardwood_species. Acesso em: 28 ago. 2025.
- DZIURZYNSKI, A.; SUPINSKI, J.; SURMINSKI, J. Studies on chemical composition of wood on the basis of infrared spectroscopy: I. Relation between wood chemical composition and absorbance of individual bands of the IR spectrum within the range 700–1900 cm⁻¹. *Folia Forestalia Polonica*, v. 18, 1988.
- FAIX, O. Classification of lignins from different botanical origins by FTIR spectroscopy. *Holzforschung*, v. 45, suppl., p. 21–27, 1991.
- FERREIRA-LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.; NEPOMUCENO, A. L.; MOLINARI, H. B. C.; BON, E. P. S. Biomass residues in Brazil: availability and potential uses. *Waste and Biomass Valorization*, v. 1, n. 1, p. 65–76, 2010.
- FERNANDES, Lenita da Silva Lúcio. Síntese e aplicações de nanopartículas de lignina por deslocamento de solvente em aparatos de atomização e microfluido. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Disponível em:
<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/44147>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- GIGLI, M. et al. Lignin-based nano-enabled agriculture: A mini-review. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 26 out. 2022.
- GODFRAY, H. C. J. et al. Food Security: the Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 812–818, 28 jan. 2010.

GUSTAVSSON, J.; CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; VAN OTTERDIJK, R.; MEYBECK, A. Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. Roma: FAO, 2011. Disponível em: <https://www.fao.org/3/mb060e/mb060e00.htm>. Acesso em: 25 ago. 2025.

HUANG, H.; XIE, W.; LI, X.; ZHANG, J. Influence of emulsion composition and spray-drying conditions on microencapsulation of tilapia oil. *Journal of Food Science and Technology*, v. 51, n. 9, p. 2148–2154, 2012.

JIANG, Y.; LI, Y.; ZHOU, Y.; WANG, C.; XU, Q.; LI, Z. Fabrication and characterization of lignin–xylan hybrid nanospheres as pesticide carriers with enzyme-mediated release property. *Soft Matter*, v. 16, n. 39, p. 9083–9093, 2020.

JOHANSSON, M.; CARLSSON, P.; LINDSTRÖM, T.; LARSSON, A. Lignin-polylactic acid biopolymer blends for advanced applications – Effect of impact modifier. *Composites Part C Open Access*, v. 14, p. 100502, 2024.

PARK, S.; JAMEEL, H.; VENDETTI, R. A. Compositional Analysis of Lignocellulosic Feedstocks. 2. Method of Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 58, n. 16, p. 10456–10461, 2010. DOI: 10.1021/jf1014402.

PEDRO, Marcelo da Silva; et al. Síntese de nanopartículas de lignina e sua aplicação na estabilização de emulsões Pickering água/água: uma nova tecnologia para valorização da lignina do bagaço de cana-de-açúcar. *International Journal of Chemical Engineering*, v. 2024, p. 7072901, 2024. DOI: 10.1155/2024/7072901

POSTAWA, T.; et al. Materiais biodegradáveis produzidos por injeção termoplástica com alto teor de lignina: avaliação do comportamento térmico. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/11/1773>. Acesso em: 28 ago. 2025.

KURIAN, J. K.; GARIÉPY, Y.; ORSAT, V.; RAGHAVAN, V. G. S. Microwave-assisted lime treatment and recovery of lignin from hydrothermally treated sweet sorghum bagasse. *Biofuels*, v. 6, n. 5, p. 1–15, 2015.

LIANG, W.; ZHANG, L.; WANG, J.; LI, H.; XU, F. Lignin-based non-crosslinked nanocarriers: A promising delivery system of pesticide for development of sustainable agriculture. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 220, p. 472–481, 2022.

MACHADO, T. O.; SILVA, R. F.; GONÇALVES, M. F.; LIMA, A. M.; COSTA, P. J. Bio-based lignin nanocarriers loaded with fungicides as a versatile platform for drug delivery in plants. *Biomacromolecules*, v. 21, n. 7, p. 2755–2763, 2020.

MANCERA, A.; FIERRO, V.; PIZZI, A.; DUMARÇAY, S.; GERARDIN, P.; VELÁSQUEZ, J.; QUINTANA, G.; CELZARD, A. Physicochemical characterisation of sugar cane bagasse lignin oxidized by hydrogen peroxide. *Polymer Degradation and Stability*, v. 95, p. 470–476, 2010.

NOGUEIRA, C. C. Avaliação do uso de tensoativos nos pré-tratamentos ácido e alcalino diluídos da casca do coco verde e quantificação de água na pós-lavagem. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

NOGUEIRA, C. C. Produção de etanol celulósico sob elevadas concentrações de polímeros à base de óxido de etileno. 2021. 302 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

OLIVEIRA, João Carlos de; et al. Processo de acetilação de lignina para obtenção de derivados com propriedades melhoradas. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 137, n. 7, p. 49012, 2020. DOI: 10.1002/app.49012.

PANAMGAMA, L. A.; PERAMUNE, P. R. U. S. K. Coconut coir pith lignin: A physicochemical and thermal characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 113, p. 1149–1157, 2018.

PANDEY, K. K.; PITMAN, A. J. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 52, n. 3, p. 151–160, 2003.

POLETO, M.; ZATTERA, A. J.; FORTE, M. M. C.; SANTANA, R. M. C. Thermal decomposition of wood: influence of wood components and cellulose crystallite size. *Bioresource Technology*, v. 109, p. 148–153, 2012.

POLETO, M.; ORNAGHI JÚNIOR, H. L.; ZATTERA, A. J. M. Cellulose from Lignocellulosic Biomass: Structure and Chemical Reactions for Industrial Applications. In: *Cellulose - Fundamental Aspects*. IntechOpen, 2014. Capítulo 6. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/47213>. Acesso em: 28 ago. 2025.

RABELO, S. C.; AMEZQUITA, S.; ANDRADE, R. R.; MACIEL FILHO, R.; COSTA, A. C. Alkaline hydrogen peroxide pretreatment, enzymatic hydrolysis and fermentation of sugarcane bagasse to ethanol. *Fuel*, v. 124, p. 29–36, 2019.

RIBEIRO, V. T.; CAMPOLINA, A. C.; DA COSTA, W. A.; PADILHA, C. E. A.; FILHO, J. D. B. C.; LEITÃO, A. L. O. S.; ROCHA, J. C.; DOS SANTOS, E. S. Ethanol production from green coconut fiber using a sequential steam explosion and alkaline pretreatment. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03100-0>.

ROSA, M. F.; ABREU, F. A. P.; FURTADO, A. A. L.; BRÍGIDO, A. K.; NORÕES, E. R. Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. (Comunicado Técnico, 61).

SEGAL, L.; BASSO, A.; CHEN, J.; et al. Análise de difração de

Anexos

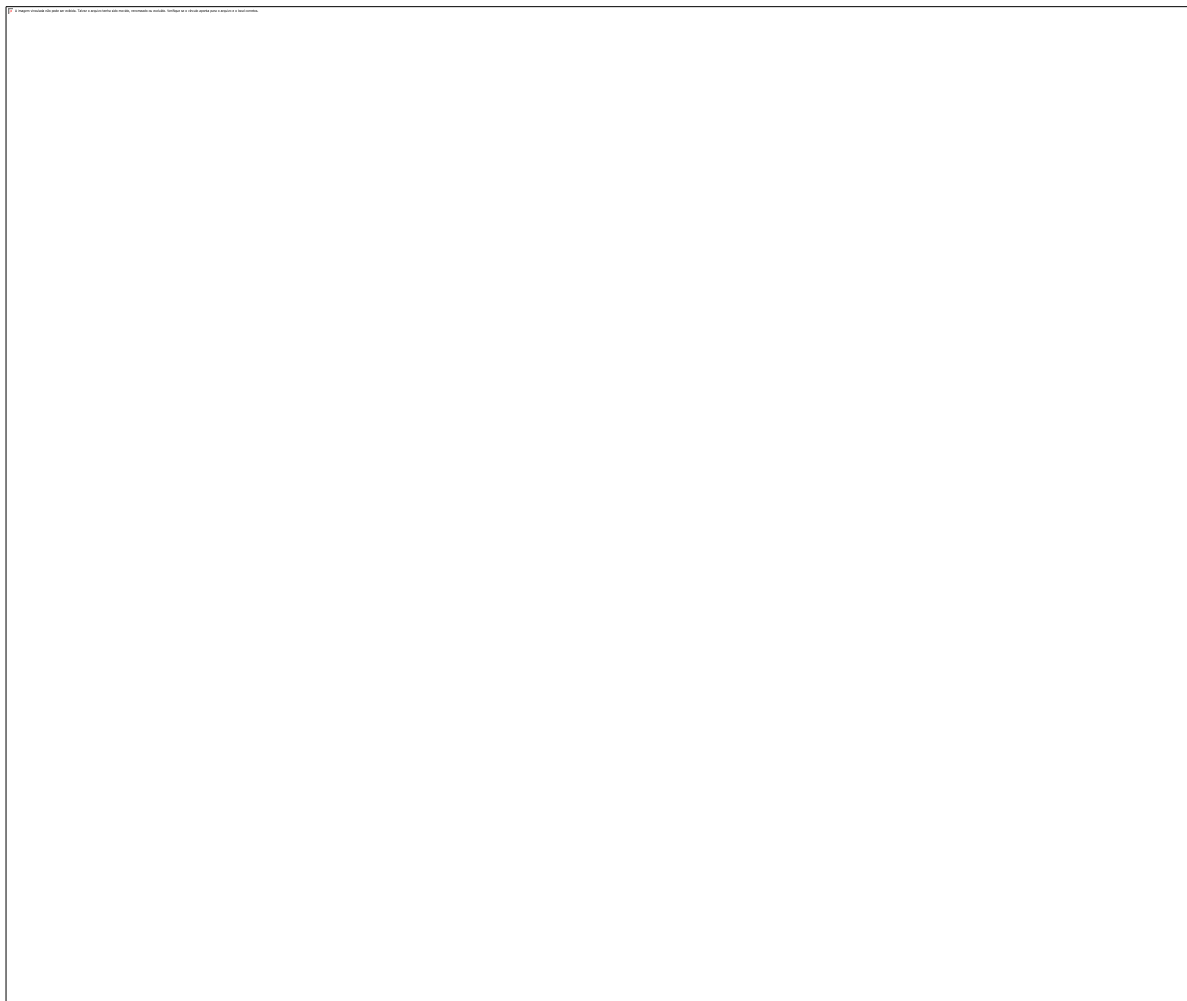


figura 6

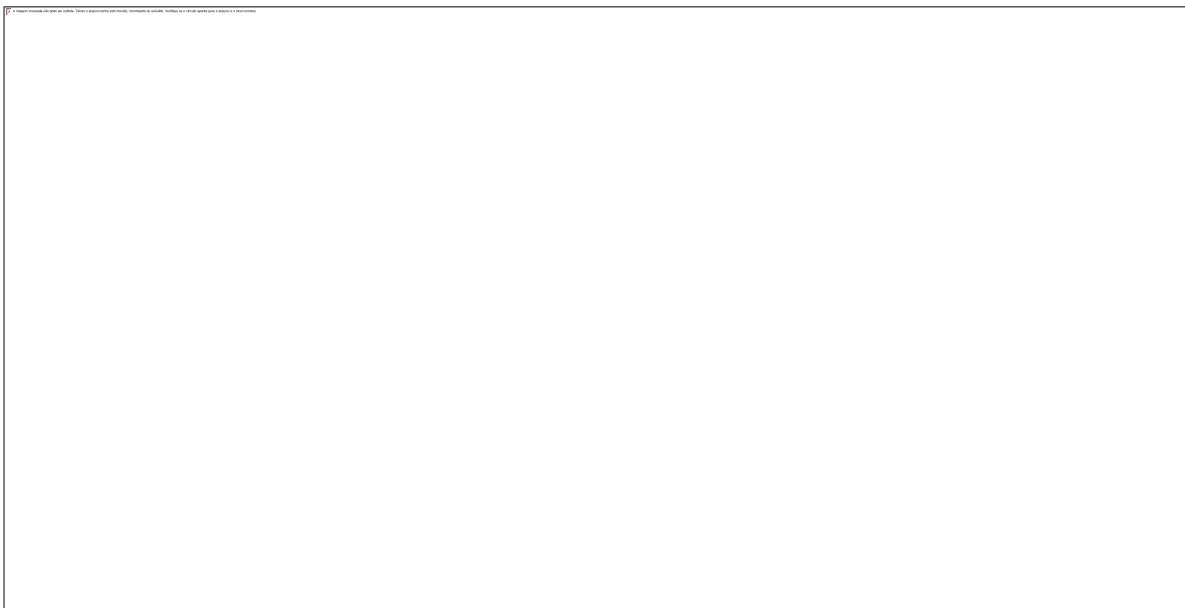


figura 5

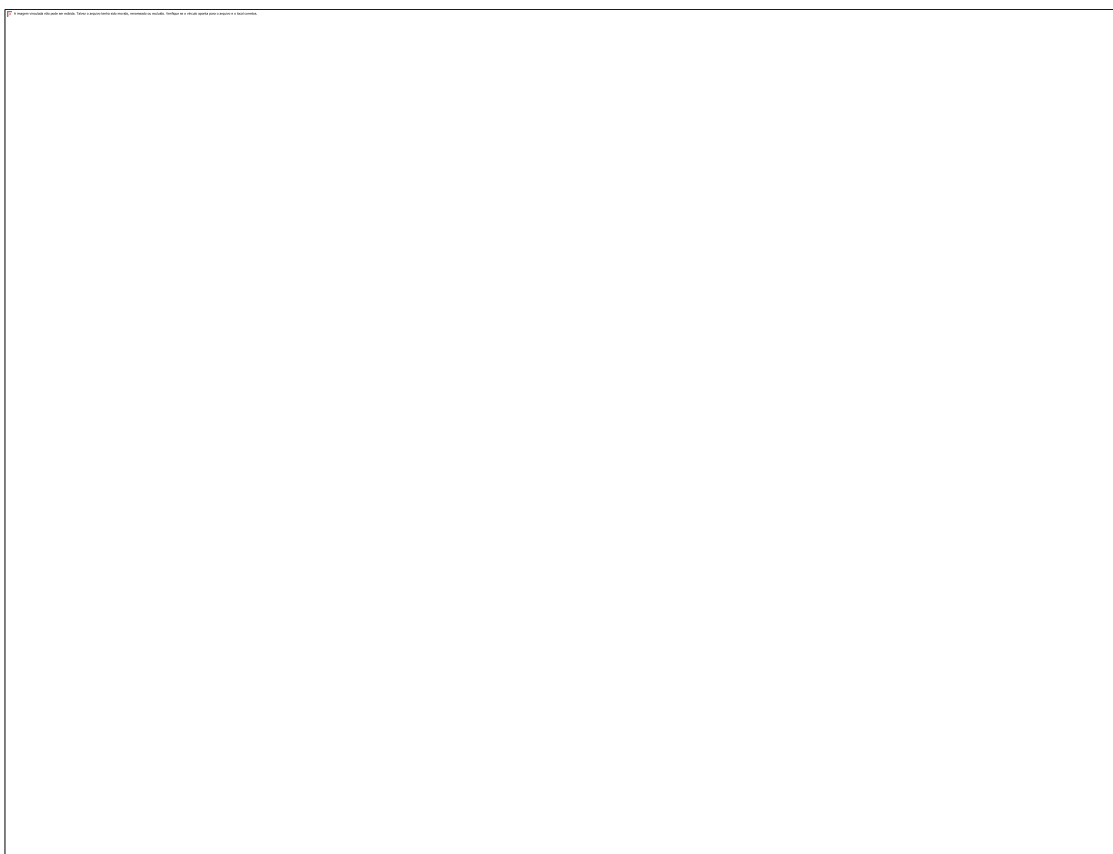


figura 4

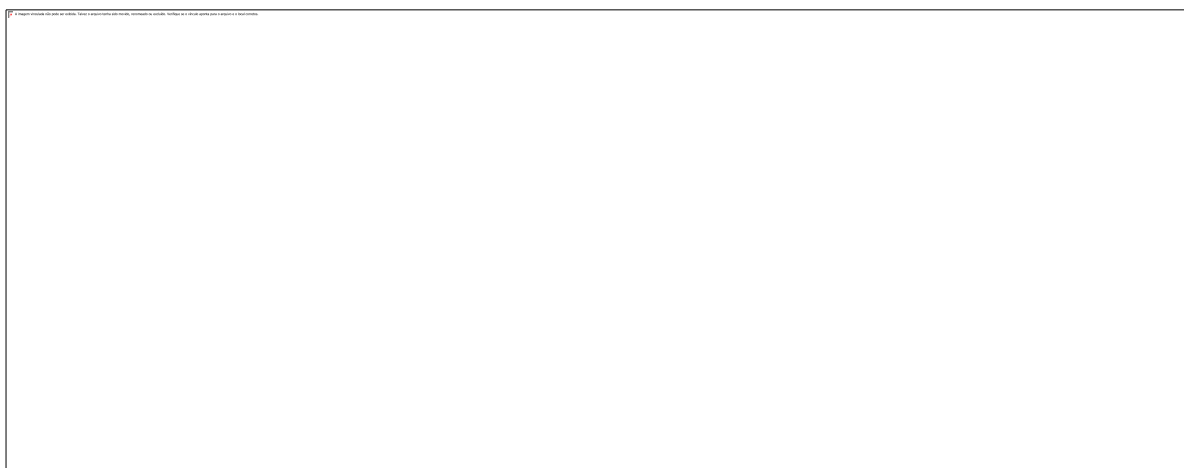


figura 3

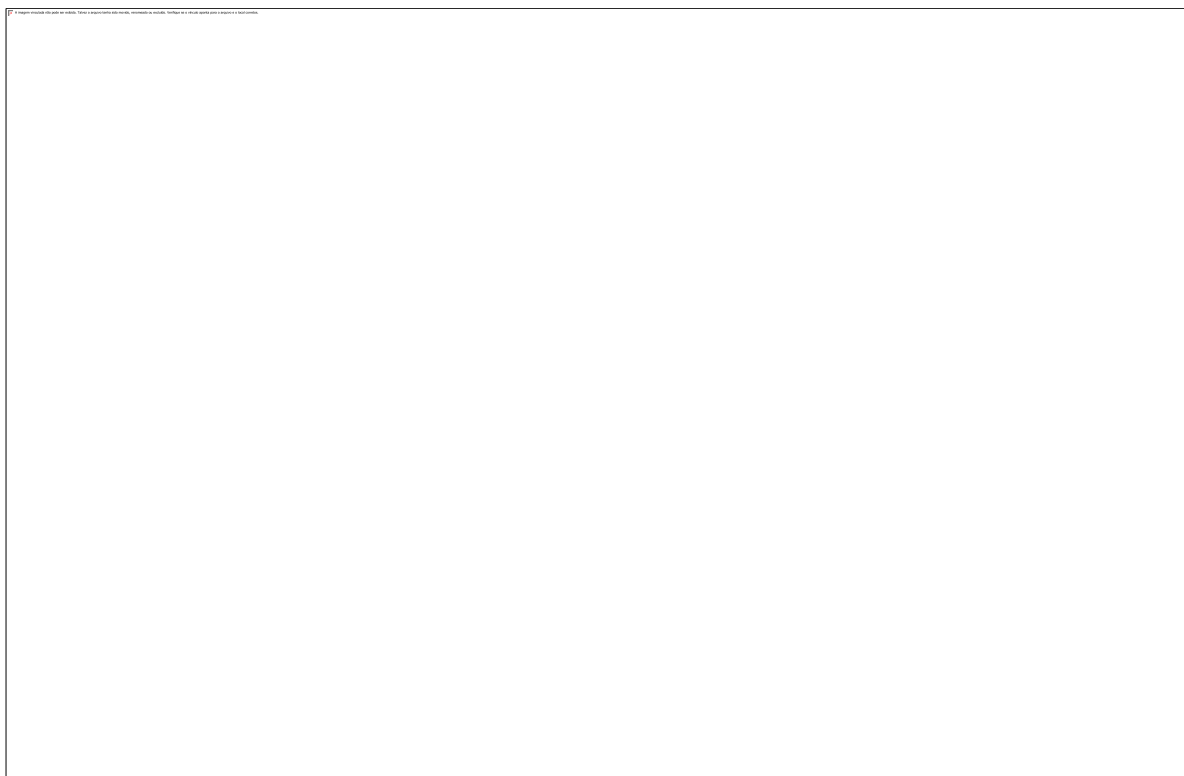


figura 2



tabela 2

Table content is missing or blank.

tabela 1

Table content is missing or blank.

figura 1

Table content is missing or blank.

tabela 3

CÓDIGO: ET0615

AUTOR: GABRIEL AGOSTINHO DA SILVA

ORIENTADOR: MARIA CAROLINA BURGOS COSTA DO NASCIMENTO

TÍTULO: PRODUÇÃO DE NANOFIBRAS DE PVDF/rGO POR ELETROFIAÇÃO:
UM CAMINHO INOVADOR PARA NANOGERADORES PIEZOELÉTRICOS
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA.

Resumo

Neste trabalho, nanopartículas de óxido de grafeno reduzido (rGO) sintetizadas em laboratório foram incorporadas na matriz polimérica do poli (fluoreto de vinilideno) (PVDF), nas concentrações de 0.5 e 1.0 % em peso, para obtenção de nanofibras por meio do método de eletrofiação. Para caracterizar os nanocompósitos obtidos, foram utilizadas as técnicas de microscopia eletrônica de varredura com fonte de emissão de campo (SEM-FEG), difração de raios X (XRD), espectroscopia no infravermelho por transformada de fourier (FTIR), buscando avaliar a morfologia, polimorfismo e as propriedades piezoelétricas das nanofibras. Os resultados mostraram que a fração relativa predominante das nanofibras é a do polimorfo β , com seu máximo obtido em 84.1 % para PVDF/rGO 1.0% (OT3), com coeficiente piezoelétrico respectivo de 5.72 pC/N. Foi possível observar também que com o aumento da concentração de nanocargas na solução polimérica obtivemos uma tensão de saída máximo de 93.7 mV para PVDF/rGO 1.0% (OT3), e 90.4 mV para PVDF/rGO 0.5% (OT2), valores maiores em relação ao PVDF puro, indicando alto potencial eletroativo e, consequentemente, aplicação em sensores de pressão sensíveis e nanogeradores de eletricidade.

Palavras-chave: PVDF, phase, rGO, nanofibras, eletrofiação e piezoeletricidade

TITLE: PRODUCTION OF PVDF/rGO NANOFIBERS BY ELECTROSPINNING:
AN INNOVATIVE PATH TOWARDS PIEZOELECTRIC NANOGENERATORS
FOR CLEAN ENERGY GENERATION.

Abstract

In this work, laboratory-synthesized reduced graphene oxide (rGO) nanoparticles were incorporated into the polyvinylidene fluoride (PVDF) polymer matrix at concentrations of 0.5 and 1.0 wt % to obtain nanofibers by electrospinning. To characterize the obtained nanocomposites, scanning electron microscopy with field emission source (SEM-FEG), X-ray diffraction (XRD), and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) techniques were used to evaluate the morphology, polymorphism, and

piezoelectric properties of the nanofibers. The results showed that the predominant relative fraction of the nanofibers is the β polymorph, with its maximum obtained at 84.1 % for PVDF/rGO 1.0% (OT3), with a respective piezoelectric coefficient of 5.72 pC/N. It was also possible to observe that with the increase in the concentration of nanofillers in the polymeric solution, we obtained a maximum output voltage of 93.7 mV for PVDF/rGO 1.0% (OT3), and 90.4 mV for PVDF/rGO 0.5% (OT2), higher values in relation to pure PVDF, indicating high electroactive potential and, consequently, application in sensitive pressure sensors and electricity nanogenerators.

Keywords: PVDF, phase, rGO, nanofibers, electrospinning and piezoelectric

Introdução

Sensores de pressão para detecção de medidas sensíveis e nanogeradores para geração de energia limpa são feitos de materiais como PVDF, PZT, PbTiO₃ e ZnO [1][2][3][4][5], que possuem propriedades piezoelétricas, apresentando uma deformação mecânica externa no material, que cria um diferencial de potencial, gerando cargas livres que se convertem em corrente elétrica [6][7][8]. Porém, dificuldades envolvendo a fabricação e a caracterização, limitam a produção destes materiais em escala industrial.

Nas últimas décadas, diversas pesquisas no âmbito de engenharia envolvendo o uso de nanofibras poliméricas vêm sendo desenvolvidas a partir do polímero poli (fluoreto de vinilideno) (PVDF), que é um polímero semicristalino pertencente a uma classe de polímeros semicondutores, com alta flexibilidade e estabilidade química. Assim, o PVDF apresenta polimorfismo (mais de uma fase cristalina), sendo as fases α , β e γ , as mais encontradas [9][10]. A fase α tem uma conformação molecular trans-gauche (TGTG), é a mais comum encontrada, porém a fase mais atraente e estudada é a fase β com conformação molecular totalmente trans (TTTT), devido às suas propriedades piezoelétricas, dielétricas, piroelétricas e ferroelétricas.

Para obter a fase β é necessário reorientar as moléculas e os dipolos moleculares em um processo de polarização, no qual um alto campo elétrico faz com que os dipolos e as moléculas girem e se orientem para o mesmo sentido, convertendo a fase α em fase β . Entre os polimorfos, a fase β é a que apresenta maior momento dipolar, devido a eletronegatividade do F em comparação com o C e o H, uma vez que seus dipolos estão paralelos entre si, aumentando propriedades eletroativas [9][11]. Desse modo, por conta das propriedades do polimorfo β do PVDF, este polímero vem sendo estudado para aplicação em sensores de pressão sensíveis e nanogeradores para produção de energia limpa.

Recentemente, nanopartículas e aditivos como GO, rGO, MoS₂ e TiO₂ vêm sendo incorporados em nanofibras de PVDF como agentes melhoradores de propriedades, por meio da técnica de eletrofiação [2][3][12][13][14][15][16]. Nesta técnica, um alto campo elétrico é aplicado na seringa que injeta a solução polimérica. Quando o campo elétrico aplicado supera a tensão superficial da gota na ponta da agulha, um jato carregado de solução polimérica é ejetado e, o estiramento mecânico e polarização acontece entre a seringa e o coletor, possibilitando a orientação dipolar, obtendo-se assim a fase β do PVDF [9][10][13].

A incorporação de nanopartículas pode melhorar as propriedades químicas e físicas das nanofibras, tais como: morfologia, piezoeletricidade, condutividade elétrica, constante

dielétrica, fotocatalise e resistência mecânica [1][2][10][11][12][17][18]. Dessa maneira, derivados de carbono vêm sendo estudados para serem utilizados como nanopartículas incorporadas em fibras de PVDF [10][13][17]. O óxido de grafeno vem atraindo pesquisadores devido ao seu baixo custo, fácil disponibilidade e ampla possibilidade de ser convertido em óxido de grafeno reduzido [1][2][19]. Diversas rotas de síntese são usadas e estudadas para produção de óxido de grafeno (GO), e o método mais utilizado e eficaz é a rota de Hummers [20][21]. Assim, para obter o óxido de grafeno reduzido (rGO), uma esfoliação química ou térmica do GO é realizada, sendo retirados os grupos oxigenados de sua estrutura para obtenção do rGO, que é um material com composições mais puras do que o GO, tendo propriedades semelhantes às do grafeno comercial (Gr), com altos índices de pureza [3][8][11]. Desse modo, a adição de nanopartículas de GO e rGO na matriz polimérica do PVDF aumentam a fase β eletroativa nas nanofibras. Além disso, a grande área superficial das nanopartículas auxilia na melhoria das propriedades mecânicas e respostas piezoelétricas [1][10]. Neste trabalho, rGO será sintetizado em laboratório para ser incorporado em diferentes concentrações em PVDF por meio da técnica de eletrofiação.

Metodologia

Síntese de óxido de grafeno reduzido (rGO)

O rGO usado foi obtido a partir do método aprimorado de síntese de óxido de grafeno [20][21].

A Figura 1 mostra o procedimento para produção e obtenção das nanopartículas de óxido de grafeno (GO) e óxido de grafeno reduzido (rGO).

Preparo da solução para eletrofiação

Soluções na proporção 6:4 de DMF e AC foram preparadas e, em seguida, 0.5% e 1 % em peso de rGO foram adicionadas nas soluções e agitadas. Subsequentemente, 15% em peso de PVDF foi adicionado e agitado vigorosamente por 3 horas a temperatura de 50°C. Os parâmetros de eletrofiação foram fixados com uma vazão de 1 ml/h, agulha de metal romba calibre 22, seringa de 10 ml, velocidade do coletor rotativo em 700 rpm, fonte de tensão entre 0 a 20 kV, e 15 cm a distância da agulha para o coletor. Por fim, a manta obtida foi deixada em 100°C na estufa por 24 horas.

A Figura 2 mostra o procedimento para produção e obtenção das nanofibras incorporados com nanopartículas.

Preparação do nanogerador piezoelétrico

Foi usado como eletrodos lâminas de cobre com área total de 0.001254 m², utilizando as nanofibras de PVDF puro e dopadas com rGO a 0.5% e 1%.

Caracterizações

Difração de Raios X (XRD)

A análise de difração de raios X do PVDF em pó, das nanofibras contendo 0.5% e 1% de rGO e das amostras de grafite, óxido de grafeno (GO) e óxido de grafeno reduzido (rGO) sintetizados em laboratório foram realizadas a partir de um difratômetro (Shimadzu, XRD-6000), usando radiação CuK α (1,54056 Å), com varredura no teor de 5 graus por minuto na faixa de 5 a 30 graus.

Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Para analisar o grau de cristalinidade e polimorfismo das fases α e β das amostras de PVDF puro e PVDF contendo rGO, um espectrofotômetro IR com transformada de

Fourier (BRUKER, VERTEX 70) foi utilizado e registrado no modo de transmissão em temperatura ambiente por uma média de 16 varreduras, com resolução de 4 cm⁻¹. Os espectros foram analisados na faixa de frequência de 500 - 4000 cm⁻¹.

Microscopia Eletrônica de Varredura com Fonte de Emissão de Campo (SEM-FEG)

A morfologia das nanofibras foi analisada por meio de um microscópio eletrônico de varredura de fonte de emissão de campo (SEM-FEG, Zeiss, Supra 35 VP), acoplado com espectroscopia de energia dispersiva (EDS, Bruker, XFlash) para análise elementar das amostras. Os diâmetros das nanofibras foram aferidos utilizando o software Image J.

Caracterizações Piezoelétricas

Para realizar as medições piezoelétricas foi montado um aparato especial, usando um shaker, para exercer pressões mecânicas no material piezoelétrico, onde o software LabView foi usado para controlar a amplitude da força e frequência do shaker e também processar os dados de tensão de saída do nanogerador vindos de um amplificador (SIGNAL RECOVERY 7265 DSP LOCK IN AMPLIFIER). Mudando a amplitude do shaker as forças médias exercidas foram variadas em 0.77, 0.95 e 1.87 N, tais forças médias foram medidas usando uma célula de carga HX711.

O cálculo do coeficiente piezoelétrico d₃₃ foi realizado a partir da equação abaixo. [3]
 $d_{33} = Q/F = C_m V_m / F$ Eq. (1)

Onde, C_m (92,4 pF) é a capacitância dos eletrodos em paralelo a amostra do nanogerador, V_m é a tensão máxima gerada pelo material piezoelétrico e F é a força aplicada.

Resultados e Discussões

Difração de Raios X (XRD)

Os espectros XRD do GO, rGO e grafite em pó foram obtidos e estão mostrados na Figura 3.

O espectro de XRD normalizado de GO, rGO e grafite mostra picos significantes para o espectro de grafite na região de 26°, associado ao plano (002). O espectro do GO mostra um pico característico na região de 10° em relação ao plano (001) [24], indicando que houve um afastamento interplanar, possivelmente decorrente da inserção de grupos oxigenados na estrutura, ocasionado pelo processo de oxidação. Já para o rGO tem-se um espectro em aproximadamente 25°, referente a uma diminuição interplanar, indicando que o procedimento de redução ocorreu, onde grande parte dos grupos oxigenados são retirados da estrutura química do material [25].

Os espectros XRD de pó de PVDF puro, nanofibras de PVDF puro e dopadas com 0.5% e 1% de rGO estão na figura 4.

Os espectros XRD de PVDF em pó mostram picos nos valores 2θ de 18.1 e 19.8 com reflexos (020) (110) correspondentes a fase α do PVDF. É possível notar que o pico em 18.1 desaparece nas amostras eletrofiadas, indicando o desaparecimento da fase α, não desejada, e corroborando com o aumento da fase β eletroativa. Para as nanofibras eletrofiadas de PVDF puro e PVDF contendo rGO, foi obtido um pico em 20.6 com reflexos (110) (200), pico característico da fase β do polimorfo PVDF [1][11][13][19]. Após serem eletrofiadas e adicionadas nanopartículas de rGO em maiores concentrações

às nanofibras, a fase α desaparece quase completamente, e a fase desejada β eletroativa do polimorfo é predominante na matriz polimérica, aumentando suas propriedades eletroativas [4][26].

3.2.4 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 5 mostra os espectros de FTIR das nanofibras eletrofiadas de PVDF puro e PVDF contendo 0.5 e 1.0% de rGO.

Na análise de FTIR foi possível observar os picos 478, 510, 840, 1276 e 1400 cm^{-1} relacionados a fase β , com reflexão de $\text{CH}_2\text{-CF}_2$, e um pequena banda de baixa intensidade em 762 cm^{-1} , relacionada a fase α [3][27]. Observou-se que o teor da fase β nas mantas aumentou com a incorporação e teor de rGO, comprovado pelo aumento da intensidade dos picos [28]. A fração relativa da fase β foi aferida, satisfazendo a lei de Lambert-Beer, e calculada a partir da Equação 2 [9]:

$$F(\beta) = A\beta / ((K\beta/K\alpha)A\alpha + A\beta) \text{ Eq. 2}$$

Sabe-se que $K\alpha = 6.1 \times 10^4$ e $K\beta = 7.7 \times 10^4 \text{ cm/mol}$, onde $A\beta$ e $A\alpha$ são picos de absorção de 840 e 762 cm^{-1} . Desse modo, como mostrado na Tabela 1, $F(\beta)$ foi obtido para PVDF puro (OT1), PVDF/rGO (OT2) e PVDF/rGO (OT3), com frações respectivas de, 70.4, 76 e 84.1%. Pode-se observar que a transição da fase α para a fase β ocorreu satisfatoriamente por meio do método de eletrofiação. Com o aumento do teor de nanocargas, a fase β eletroativa aumentou devido a excelente interação entre os grupos estruturais do rGO com a matriz polimérica. Dessa forma, quando 1% de rGO foi adicionado na matriz, obteve-se um bom resultado eletroativo da fase β , com uma porcentagem de 84.1% desta fase, pois a interação forte entre rGO e PVDF favorece a maior polarização da nanofibra e, conseqüentemente, um maior efeito piezoelétrico.

Tabela 1. Fração relativa da fase β e diâmetro médio das nanofibras.

As nanofibras de PVDF/pure (OT1) apresentaram um baixo teor da fase β em relação às outras amostras, devido provavelmente ao aparecimento de defeitos em sua estrutura, como pode ser observado na Figura 6. A amostra PVDF/rGO (OT3) apresentou uma maior interação entre o PVDF e as nanopartículas de rGO, devido ao maior teor de óxido de grafeno reduzido adicionado. Estas nanopartículas podem atuar como agente de nucleação, intensificando a indução e a transformação da fase α para β , devido à interação e atração do átomo de H do PVDF ao óxido de grafeno reduzido, ocasionada pela eletronegatividade do C sp^2 hibridizado do rGO [11][25].

A Figura 6 mostra as micrografias referentes às nanofibras de PVDF puro e PVDF com 0.5% e 1% de rGO.

Na análise de FTIR foi possível observar os picos 478, 510, 840, 1276 e 1400 cm^{-1} relacionados a fase β , com reflexão de $\text{CH}_2\text{-CF}_2$, e um pequena banda de baixa intensidade em 762 cm^{-1} , relacionada a fase α [3][27]. Observou-se que o teor da fase β nas mantas aumentou com a incorporação e teor de rGO, comprovado pelo aumento da intensidade dos picos [28]. A fração relativa da fase β foi aferida, satisfazendo a lei de Lambert-Beer, e calculada a partir da Equação 2 [9]:

$$F(\beta) = A\beta / ((K\beta/K\alpha)A\alpha + A\beta) \text{ Eq. 2}$$

Sabe-se que $K\alpha = 6.1 \times 10^4$ e $K\beta = 7.7 \times 10^4 \text{ cm/mol}$, onde $A\beta$ e $A\alpha$ são picos de absorção de 840 e 762 cm^{-1} . Desse modo, como mostrado na Tabela 1, $F(\beta)$ foi obtido para PVDF puro (OT1), PVDF/rGO (OT2) e PVDF/rGO (OT3), com frações respectivas de, 70.4, 76 e 84.1%. Pode-se observar que a transição da fase α para a fase β ocorreu satisfatoriamente por meio do método de eletrofiação. Com o aumento do teor de nanocargas, a fase β eletroativa aumentou devido a excelente interação entre os grupos

estruturais do rGO com a matriz polimérica. Dessa forma, quando 1% de rGO foi adicionado na matriz, obteve-se um bom resultado eletroativo da fase β , com uma porcentagem de 84.1% desta fase, pois a interação forte entre rGO e PVDF favorece a maior polarização da nanofibra e, conseqüentemente, um maior efeito piezoelétrico. As nanofibras de PVDF/pure (OT1) apresentaram um baixo teor da fase β em relação às outras amostras, devido provavelmente ao aparecimento de defeitos em sua estrutura, como pode ser observado na Figura 6. A amostra PVDF/rGO (OT3) apresentou uma maior interação entre o PVDF e as nanopartículas de rGO, devido ao maior teor de óxido de grafeno reduzido adicionado. Estas nanopartículas podem atuar como agente de nucleação, intensificando a indução e a transformação da fase α para β , devido à interação e atração do átomo de H do PVDF ao óxido de grafeno reduzido, ocasionada pela eletronegatividade do C sp^2 hibridizado do rGO [11][25].

A Figura 6 mostra as micrografias referentes às nanofibras de PVDF puro e PVDF com 0.5% e 1% de rGO.

É possível observar a formação de fibras não orientadas, com diâmetros não uniformes e livre de defeitos em sua morfologia. Ao adicionar rGO em teores de 0.5% e 1.0%, o diâmetro médio das nanofibras aumentou, uma vez que o aumento no teor de nanopartículas na matriz polimérica ocasiona o aumento na interação entre o óxido de grafeno reduzido e o PVDF, tendo como resultado fibras com diâmetros maiores [3][6][4]. A adição de rGO ocasionou a redução de defeitos e emaranhados em sua estrutura, aumentando a fase β (Tabela 1). Além disso, a boa compatibilidade do rGO com o PVDF auxilia na interação química e aumenta a uniformidade dos diâmetros das fibras [3][14][25].

3.2.5 Caracterização piezoelétrica

Na Figura 7 são mostrados os resultados obtidos referentes à tensão de saída gerada pelo nanogerador piezoelétrico em função da frequência. Pode-se observar ruídos referentes a distorções harmônicas vindas da rede de alimentação local de 60 Hz. Com isso, é possível constatar picos dessas distorções nos valores de 120, 180, 240, 300, 360, 420 e 480 Hz, correspondentes aos múltiplos da frequência de 60 Hz.

Para analisar a resposta piezoelétrica das nanofibras de PVDF puro e PVDF contendo nanopartículas de rGO, a frequência da pressão mecânica exercida foi variada por um shaker, de 100 a 500 Hz. Foi possível observar um aumento na tensão de saída com o aumento da frequência. Este comportamento pode ser explicado pela natureza das cargas elétricas no material, uma vez que a movimentação das cargas elétricas dentro do material torna-se mais sincronizada com as variações da pressão mecânica quando a frequência aumenta. Logo, a resposta piezoelétrica é otimizada. A adição de nanopartículas de rGO potencializa ainda mais essa sincronização, melhorando a eficiência da geração de tensão de saída do nanogerador piezoelétrico [11][29].

A amplitude do sinal do shaker foi variada, aumentando assim a força exercida sobre o PVDF. As forças médias medidas foram de 0.80 N, 0.96 N e 2.03 N. Este aumento na força aplicada permitiu analisar a relação entre a força aplicada e a tensão de saída no nanogerador de PVDF, uma vez que essa deformação mecânica causa uma reorientação dos dipolos de polarização, resultando em uma maior indução de cargas elétricas na superfície dos eletrodos do dispositivo.

Para uma força de 0,80 N, o maior valor de tensão obtido foi de 43.0 mV para PVDF/rGO (OT3). Quando a força aplicada foi aumentada para 0.96 N, houve um aumento expressivo na tensão de saída, atingindo 89.2 mV, indicando que a tensão de

saída do nanogerador é altamente dependente da força aplicada [1], o que demonstra uma resposta significativa ocasionada pelo aumento na pressão mecânica. No entanto, ao aumentar ainda mais a força mecânica para 2.03 N, a ampliação da tensão de saída não foi tão significativa. Isto pode ser explicado pela alta sensibilidade do PVDF a pequenas variações de pressões mecânicas, onde pequenas forças são mais eficazes em reorientar os dipolos de polarização. Talvez, sob pressões mais elevadas, o material possa atingir um ponto de saturação, onde a eficiência da reorientação dos dipolos diminui, resultando em um menor aumento na tensão de saída e, consequentemente, menor coeficiente piezoelétrico, como mostrado na Figura 8.

A Tabela 2 mostra os coeficientes piezoelétricos obtidos para as 3 forças exercidas. Os melhores resultados foram obtidos para a força de 0.96 N.

Pode-se observar que há um aumento do coeficiente piezoelétrico para as amostras contendo rGO, indicando o efeito positivo na resposta piezoelétrica quando o rGO é adicionado na matriz polimérica.

A Figura 9 mostra a fração relativa da fase β em função do coeficiente piezoelétrico d_{33} das amostras obtidas nas condições otimizadas.

Foi possível notar que o d_{33} aumenta gradativamente com a maior fração da fase β (Figura 9), indicando que a fração relativa da fase β eletroativa influencia consideravelmente nas propriedades piezoelétricas.

Pode-se comprovar então que a adição de nanocargas na matriz polimérica ocasionou um aumento da tensão de saída com o aumento do teor de nanocargas, devido a boa interação química entre o PVDF e o rGO. Um pico máximo de 93.7 mV foi obtido para o PVDF/rGO (OT3) e um pico de 90.4 mV foi obtido para o PVDF/rGO (OT2). A boa interação entre a matriz polimérica e a carga ocasiona uma melhor polarização da fase β e, consequentemente, resultados piezoelétricos superiores, quando comparados com os resultados obtidos para o PVDF puro [1][3][30]. Para a amostra PVDF/puro (OT1), uma menor tensão de saída foi obtida, uma vez que a fração relativa da fase β foi a menor calculada, atingindo o valor de 70%, não favorecendo a formação predominante da fase β polarizada.

O aparecimento de esferas na estrutura das nanofibras, que pode ser observado na Figura 6, pode dificultar a movimentação das cargas na superfície das mesmas, reduzindo assim as respostas de saída elétrica. Em contraponto, para as amostras PVDF/rGO (OT2) e PVDF/rGO (OT3), uma tensão de saída superior foi obtida, indicando que o desaparecimento de esferas e o aumento da fração β são fatores que influenciam em uma boa resposta elétrica do material.

Conclusão

Pode-se concluir que o óxido de grafeno reduzido (rGO) foi sintetizado com sucesso e que nanofibras de PVDF incorporadas com diferentes porcentagens de rGO foram obtidas com êxito. A maior fração relativa da fase β foi de 84,1% para PVDF/rGO (OT3), com diâmetro médio de 0,96 μ m, resultando em uma tensão de saída de 93,7 mV e um coeficiente piezoelétrico de 5,72 pC/N. Verificamos que a tensão gerada depende tanto da força aplicada no nanogerador quanto da fração β . Além disso, a orientação das nanofibras pode influenciar a resposta piezoelétrica, sendo um fator a ser explorado em estudos futuros.

Por fim, o material desenvolvido apresenta um custo relativamente baixo de produção, tornando-se uma alternativa promissora para aplicações em sensores sensíveis e nanogeradores de energia limpa e autossuficiente. Para trabalhos futuros, recomenda-se investigar os efeitos piezoelétricos em frequências mais altas e com maiores concentrações de nanopartículas na matriz de PVDF, buscando otimizar ainda mais o desempenho do material.

Referências

- [1] Chen, G., Chen, G., Pan, L., & Chen, D. (2022). Electrospun flexible PVDF/GO piezoelectric pressure sensor for human joint monitoring. *Diamond and Related Materials*, 129.10.1016/j.diamond.2022.109358.
- [2] Zhou, F., Zhang, Z., Wang, J., Huang, S., Liu, J., Li, Y., Wang, Q., & Liu, W. (2020). In situ preparation of 2D MoS₂ nanosheets vertically supported on TiO₂/PVDF flexible fibers and their photocatalytic performance. *Nanotechnology*, 31(37). 10.1088/1361-6528/ab9471.
- [3] Abbasipour, M., Khajavi, R., Yousefi, A. A., Yazdanshenas, M. E., & Razaghian, F. (2017). The piezoelectric response of electrospun PVDF nanofibers with graphene oxide, graphene, and halloysite nanofillers: a comparative study. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(21).10.1007/s10854-017-7491-4.
- [4] Chamankar, N., Khajavi, R., Yousefi, A. A., Rashidi, A., & Golestanifard, F. (2020). A flexible piezoelectric pressure sensor based on PVDF nanocomposite fibers doped with PZT particles for energy harvesting applications. *Ceramics International*, 46(12).10.1016/j.ceramint.2020.03.210.
- [5] Fuh, Y. K., Kuo, C. C., Huang, Z. M., Li, S. C., & Liu, E. R. (2016). A Transparent and Flexible Graphene-Piezoelectric Fiber Generator. *Small*, 12(14).10.1002/smll.201503605.
- [6] Gee, S., Johnson, B., & Smith, A. L. (2018). Optimizing electrospinning parameters for piezoelectric PVDF nanofiber membranes. *Journal of Membrane Science*, 563.10.1016/j.memsci.2018.06.050.
- [7] Pereira da, R. (n.d.). PIEZOELETRICIDADE COMO FONTE DE ENERGIA ALTERNATIVA.
- [8] Hussein, A., Sarkar, S., & Kim, B. (2016). Low Temperature Reduction of Graphene Oxide Using Hot-plate for Nanocomposites Applications. *Journal of Materials Science and Technology*, 32(5). 10.1016/j.jmst.2016.02.001.
- [9] Kalimuldina, G., Turdakyn, N., Abay, I., Medeubayev, A., Nurpeissova, A., Adair, D., & Bakenov, Z. (2020). A review of piezoelectric pvdf film by electrospinning and its applications. In *Sensors (Switzerland) (Vol. 20, Issue 18)*.10.3390/s20185214.

- [10] Costa, L. M. M., Bretas, R. E. S., & Gregorio, R. (n.d.). ESTUDO DAS FASES α e β DO POLI (FLUORETO DE VINILIDENO) NO PROCESSO DE ELETROSPRAY/ELETROFIAÇÃO.
- [11] Yang, J., Zhang, Y., Li, Y., Wang, Z., Wang, W., An, Q., & Tong, W. (2021). Piezoelectric Nanogenerators based on Graphene Oxide/PVDF Electrospun Nanofiber with Enhanced Performances by In-Situ Reduction. *Materials Today Communications*, 26.10.1016/j.mtcomm.2020.101629.
- [12] Zhang Z-G, Liu H, Wang -X-X, Zhang J, Yu M, Ramakrishna, S; Long Y, Z. One-Step Low Temperature Hydrothermal Synthesis of Flexible TiO₂/PVDF@MoS₂ Core-Shell Heterostructured Fibers for Visible-Light-Driven Photocatalysis and Self-Cleaning. *Nanomaterials*, 9, 431, 2019.
- [13] An, N., Liu, S., Fang, C., Yu, R., Zhou, X., & Cheng, Y. (2015). Preparation and properties of β -phase graphene oxide/PVDF composite films. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(10).10.1002/app.41577.
- [14] Rahmati, M., Mills, D. K., Urbanska, A. M., Saeb, M. R., Venugopal, J. R., Ramakrishna, S., & Mozafari, M. (2021). Electrospinning for tissue engineering applications. In *Progress in Materials Science* (Vol. 117).10.1016/j.pmatsci.2020.100721.
- [15] Li, D., & Xia, Y. (2004). Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel? In *Advanced Materials* (Vol. 16, Issue 14).10.1002/adma.200400719.
- [16] MEHMOOD, A.; MUBARAK, N. M.; KHALID, M.; WALVEKAR, R. et al. Graphene based nanomaterials for strain sensor application—a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8, n. 3, p. 103743, 2020.
- [17] Shang, J., Zhang, Y., Yu, L., Shen, B., Lv, F., & Chu, P. K. (2012). Fabrication and dielectric properties of oriented polyvinylidene fluoride nanocomposites incorporated with graphene nanosheets. *Materials Chemistry and Physics*, 134(2–3).10.1016/j.matchemphys.2012.03.082.
- [18] Papageorgiou, D. G., Kinloch, I. A., & Young, R. J. (2017). Mechanical properties of graphene and graphene-based nanocomposites. In *Progress in Materials Science* (Vol. 90, pp. 75–127). Elsevier Ltd.10.1016/j.pmatsci.2017.07.00.
- [19] Jang, W., Yun, J., Jeon, K., & Byun, H. (2015). PVdF/graphene oxide hybrid membranes via electrospinning for water treatment applications. *RSC Advances*, 5(58).10.1039/c5ra04439a.
- [20] Marcano, D. C., Kosynkin, D. v., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Alemany, L. B., Lu, W., & Tour, J. M. (2010). Improved synthesis of graphene oxide. *ACS Nano*, 4(8).10.1021/nn1006368.
- [21] W.S. Hummers Jr., R.E. Offeman. Preparation of graphitic oxide. *J. Am. Chem. Soc.*, 80 (6), p. 1339, 10.1021, 1958.
- [22] 25 M. I. Rodrigues , AF Iemma , Projeto Experimental e Otimização de Processos , 1ª ed. , CRC Press, Campinas 2005.
- [23] Carvalho Freire , G.A da Silva , Y.M Pereira de Paula , J. Marini , J.D.D Melo , M.C.B Costa, *J. Appl. Polym. Sci.* 2024 , 141 (24), e55508. <https://doi-org.ez18.periodicos.capes.gov.br/10.1002/app.55508>.

- [24] Ribeiro, C., Sencadas, V., Ribelles, J. L. G., & Lanceros-Méndez, S. (2010). Influence of processing conditions on polymorphism and nanofiber morphology of electroactive poly(vinylidene fluoride) electrospun membranes. *Soft Materials*, 8(3).10.1080/1539445X.2010.495630.
- [25] Shao, H., Fang, J., Wang, H., & Lin, T. (2015). Effect of electrospinning parameters and polymer concentrations on mechanical-to-electrical energy conversion of randomly-oriented electrospun poly(vinylidene fluoride) nanofiber mats. *RSC Advances*, 5(19).10.1039/c4ra16360e.
- [26] Gyan, D. S., & Dwivedi, A. (2019). Structural and electrical characterization of NaNbO₃-PVDF nanocomposites fabricated using cold sintering synthesis route. *Journal of Applied Physics*, 125(2).10.1063/1.5046458.
- [27] Shi, K., Sun, B., Huang, X., & Jiang, P. (2018). Synergistic effect of graphene nanosheet and BaTiO₃ nanoparticles on performance enhancement of electrospun PVDF nanofiber mat for flexible piezoelectric nanogenerators. *Nano Energy*, 52, 153–162.10.1016/j.nanoen.2018.07.053.
- [28] Ünsal, Ö. F., Altın, Y., & Çelik Bedeloğlu, A. (2023). Flexible Electrospun PVDF Piezoelectric Nanogenerators with Electrospray-Deposited Graphene Electrodes. *Journal of Electronic Materials*, 52(3).10.1007/s11664-022-10169-w.
- [29] Zhang, Y. Y., Jiang, S. L., Yu, Y., Zeng, Y. K., Zhang, G. Z., Zhang, Q. F., & He, J. G. (2012). Crystallization behavior and phase-transformation mechanism with the use of graphite nanosheets in poly(vinylidene fluoride) nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 125(SUPPL. 1).10.1002/app.3562.
- [30] Atighi, M., Hasanzadeh, M. Tapete nanofibroso à base de poli (fluoreto de vinilideno) piezoelétrico autoalimentado altamente sensível contendo nanoestruturas de estrutura metálica-orgânica microporosa para aplicações de coleta de energia. *Apl. Física*. A 129, 801 (2023).<https://doi.org/10.1007/s00339-023-07080-4>.

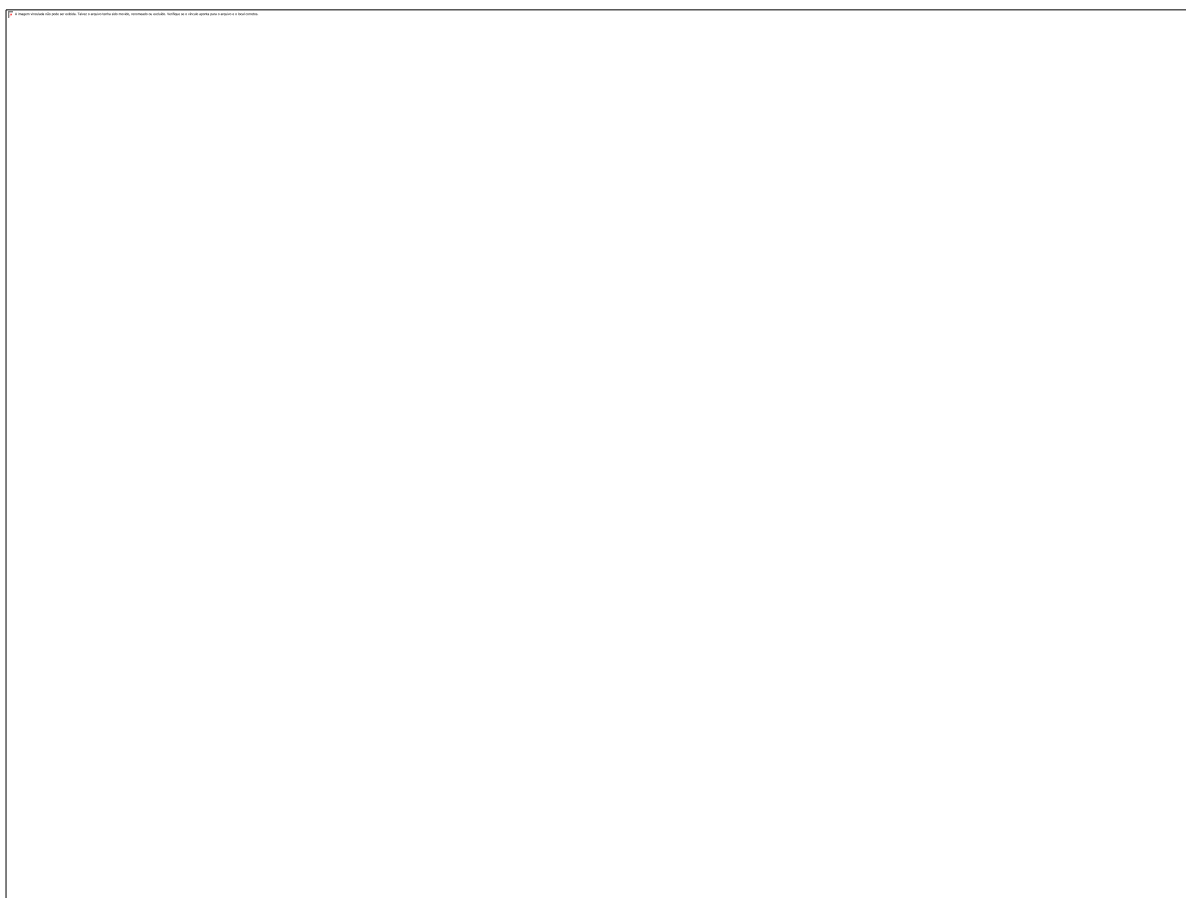


Figura 1. Esquema para fabricação de óxido de grafeno (GO) e óxido de grafeno reduzido (rGO).

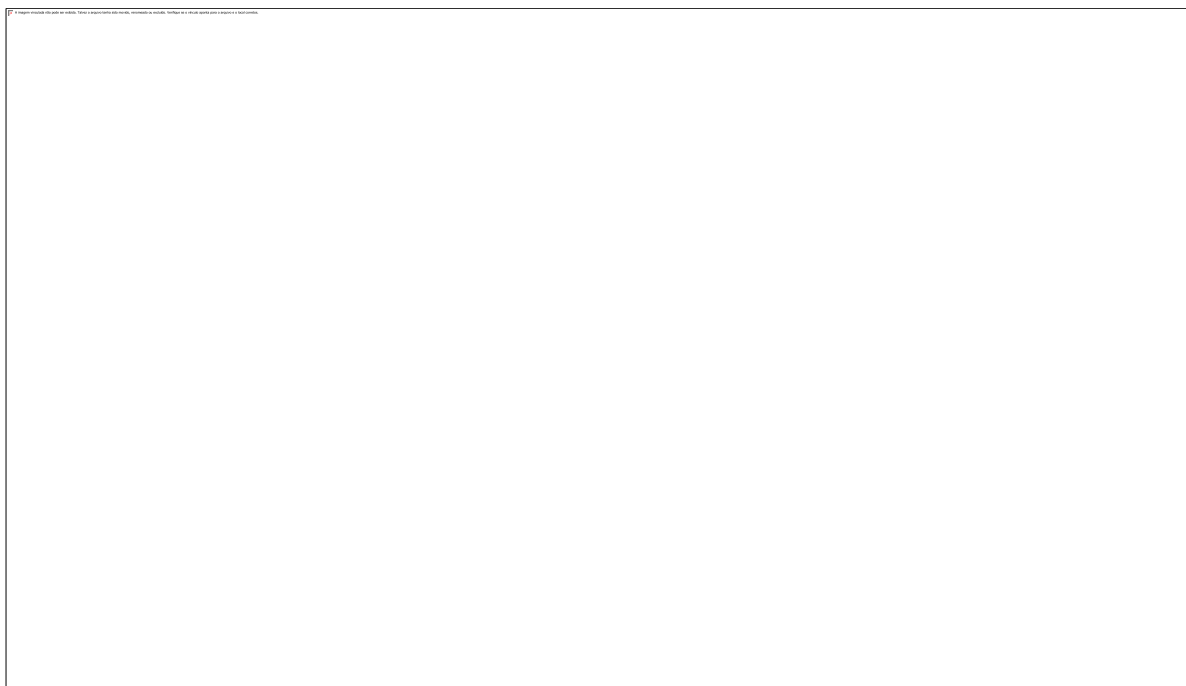


Figura 2. Esquema para fabricação das nanofibras de PVDF/rGO.

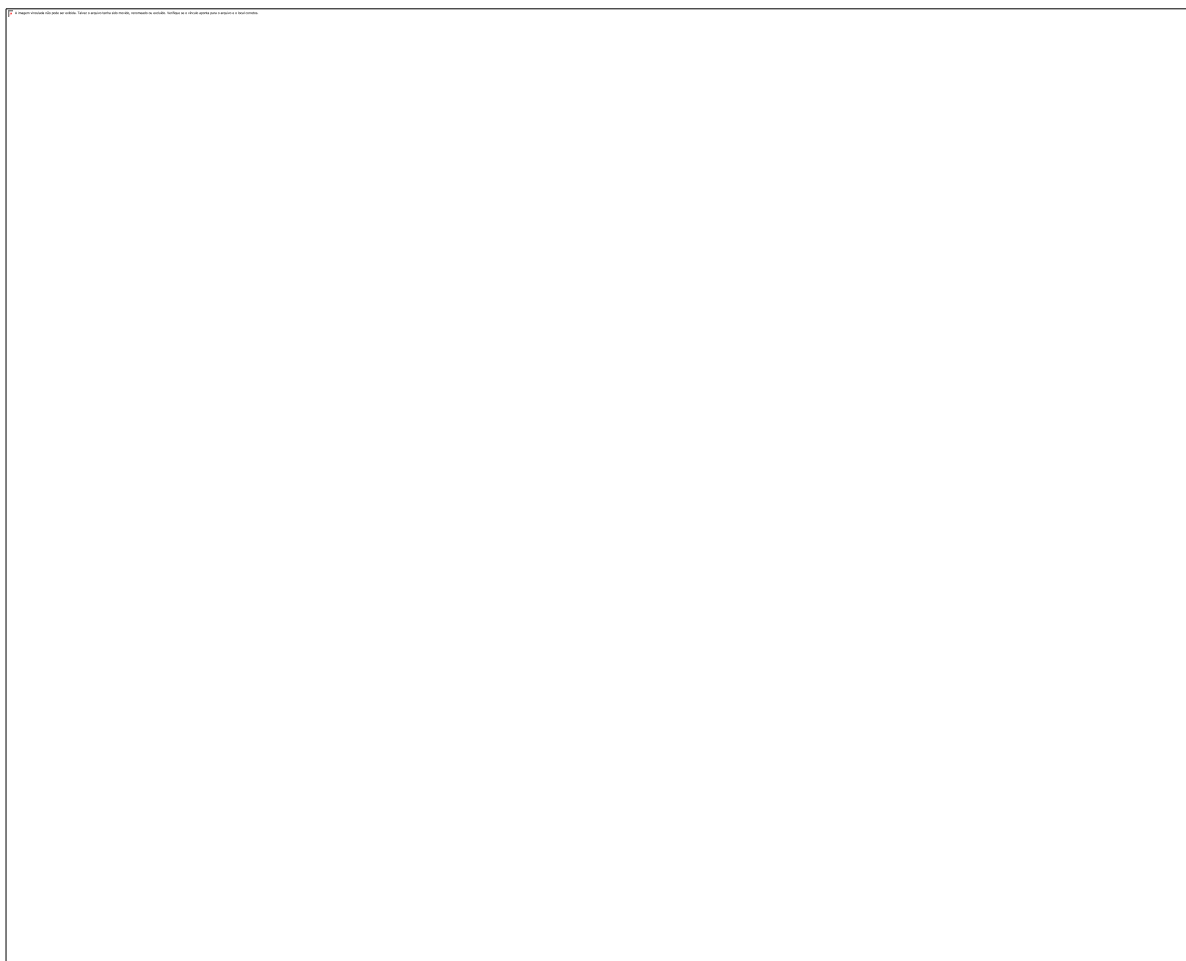


Figura 3. Padrões XRD de grafite puro, GO e rGO em pó.

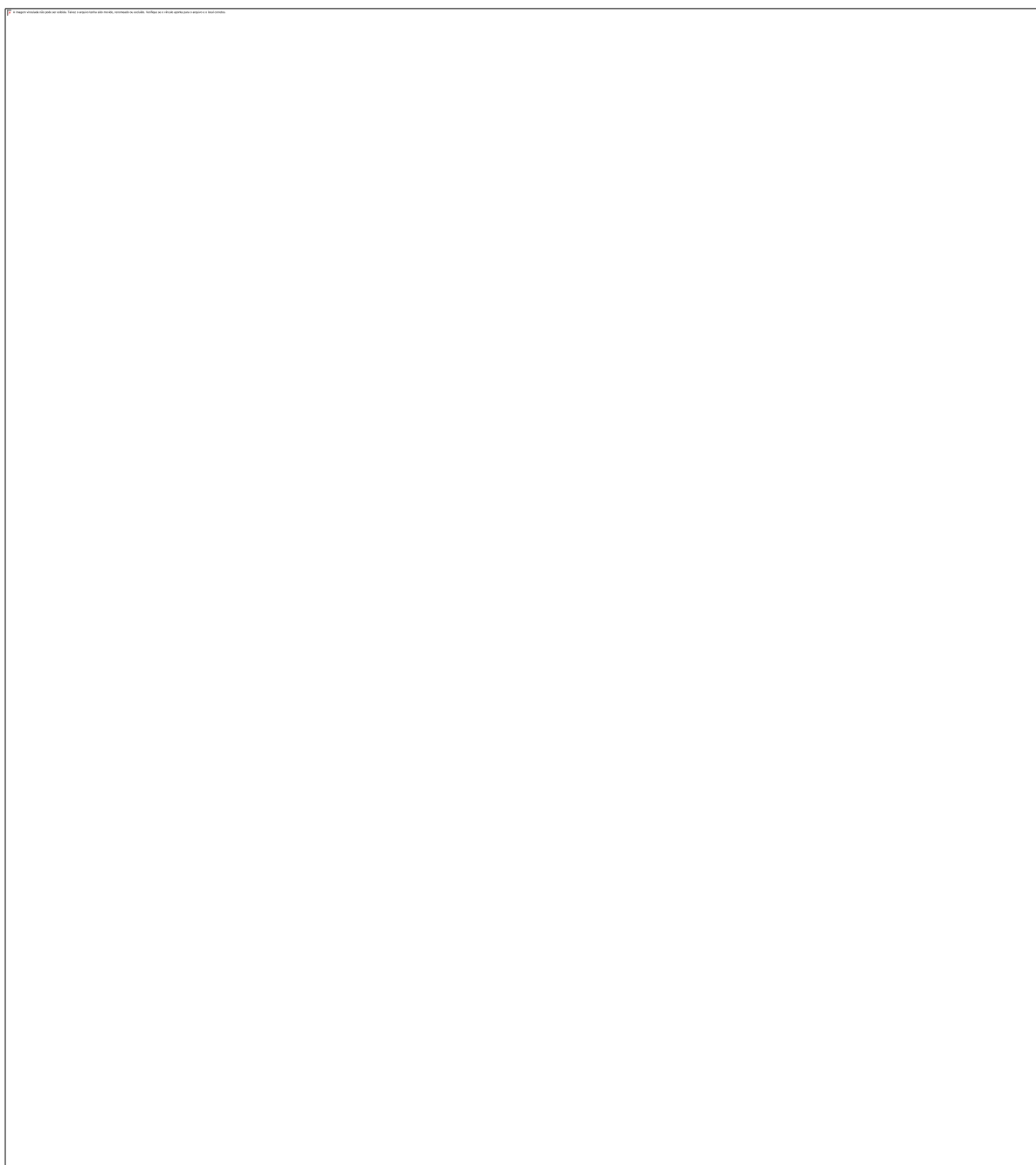


Figura 4. Padrões XRD de pó de PVDF puro, nanofibras de PVDF puro e dopadas com 0.5% e 1% de rGO.

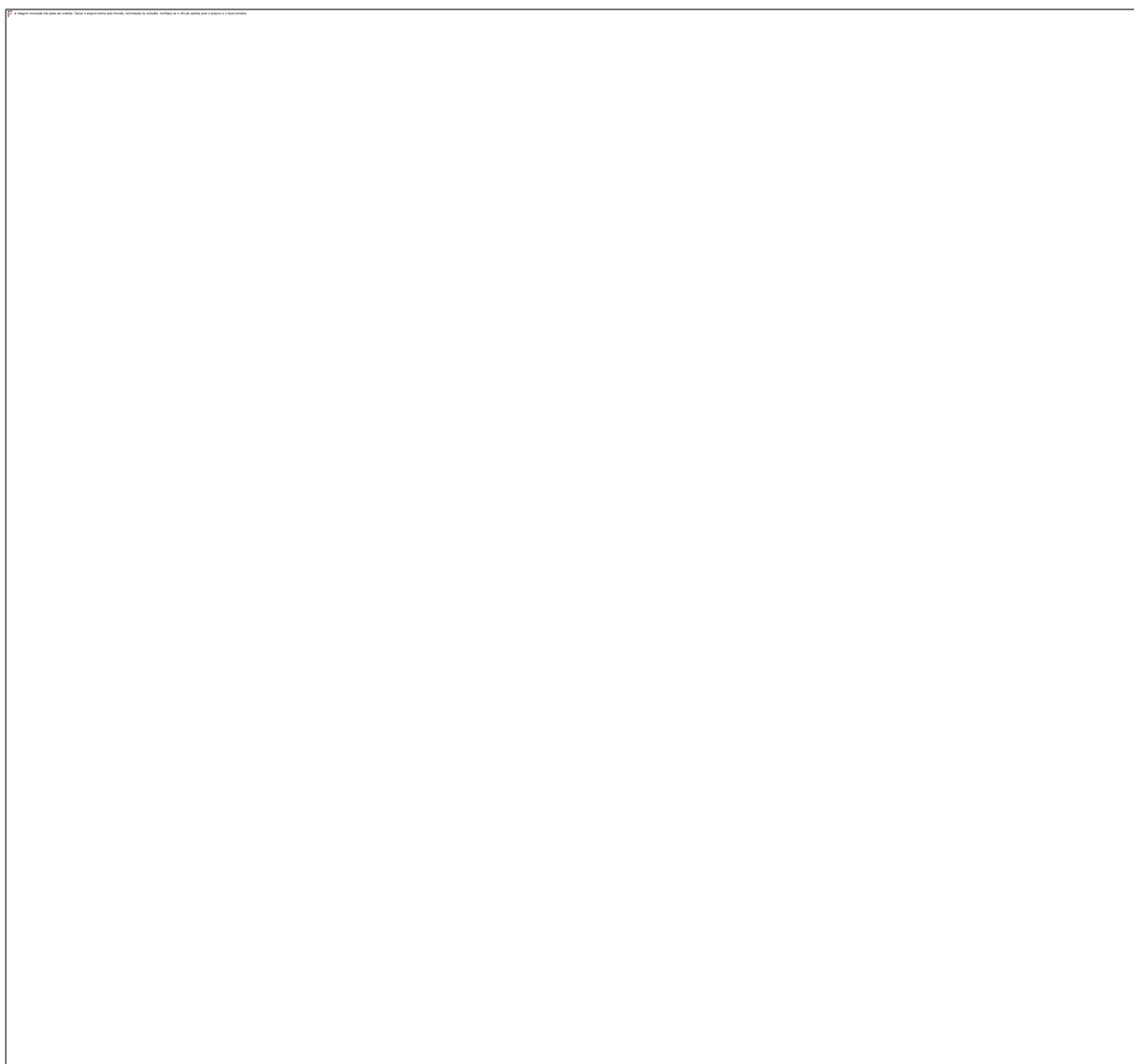


Figura 5. Espectros FT-IR de nanofibras eletrofiadas.

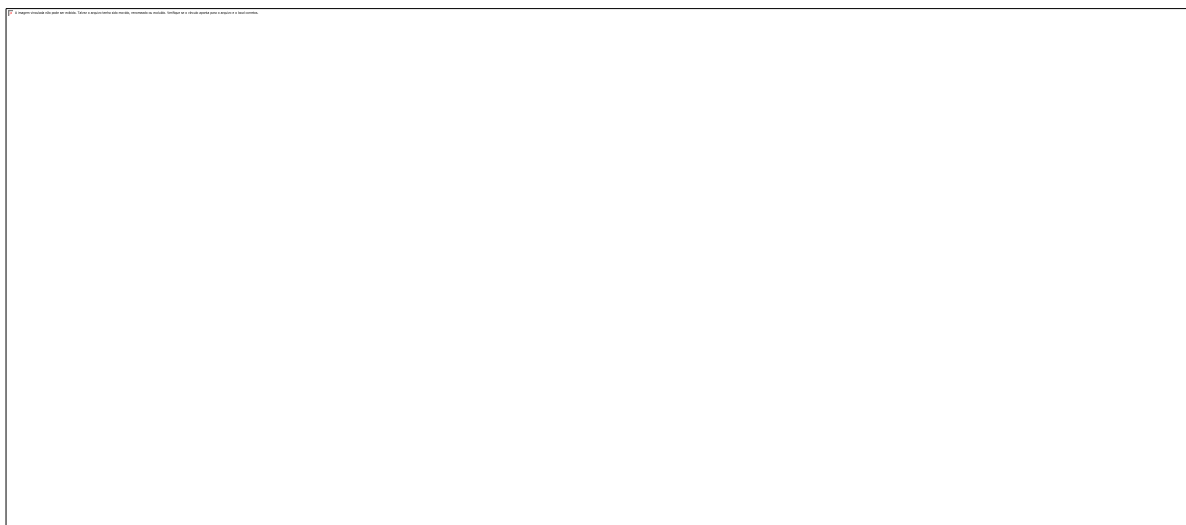


Tabela 1. Fração relativa da fase β e diâmetro médio das nanofibras.

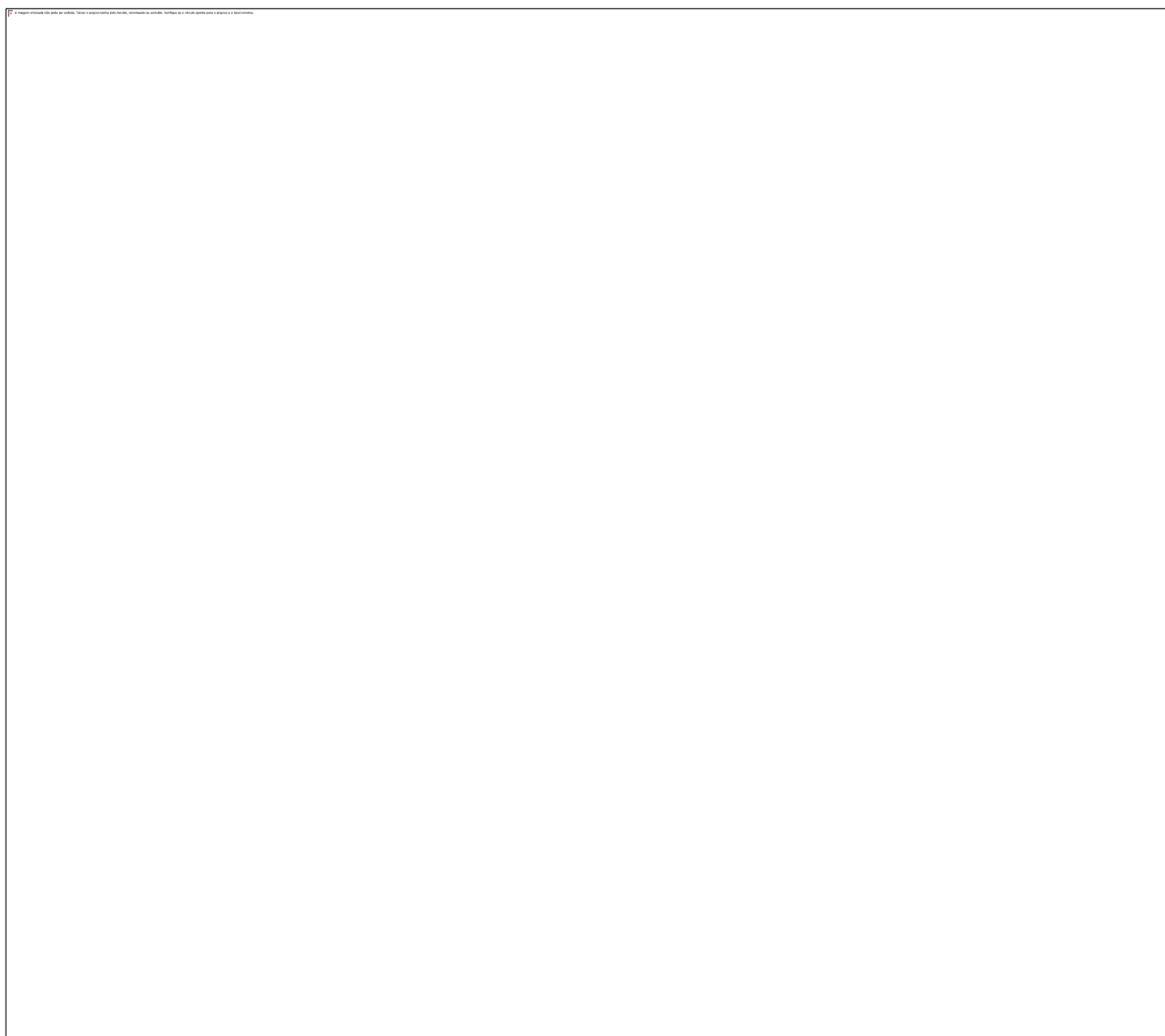


Figura 6. Nanofibras eletrofiadas: a) PVDF/puro (OT1), b) PVDF/rGO (OT2) e c) PVDF/rGO (OT3).

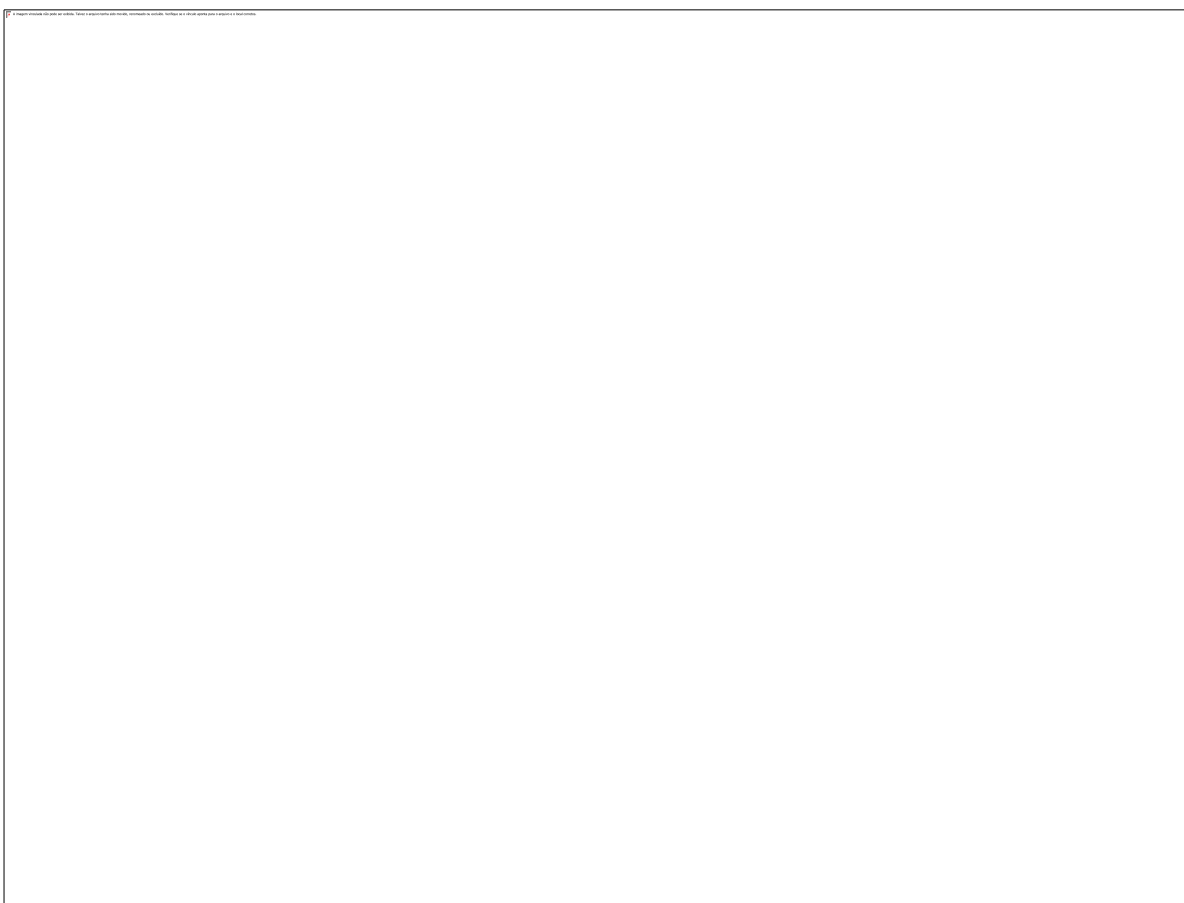


Figura 7. Tensão de saída em função da frequência: a) força de 0.80 N, b) 0.96 N e c) 2.03 N.

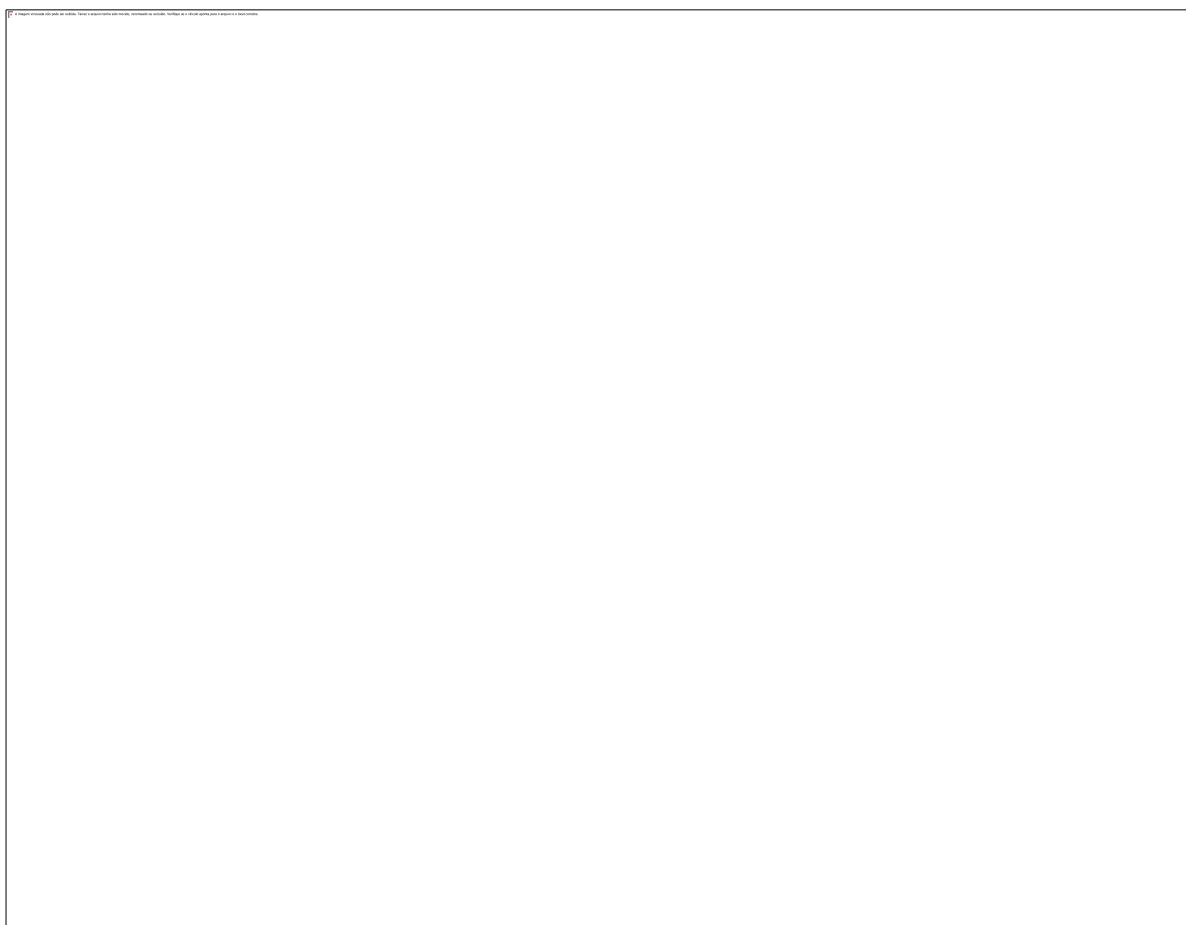


Figura 8. Coeficiente piezoelétrico em função da força aplicada no material.

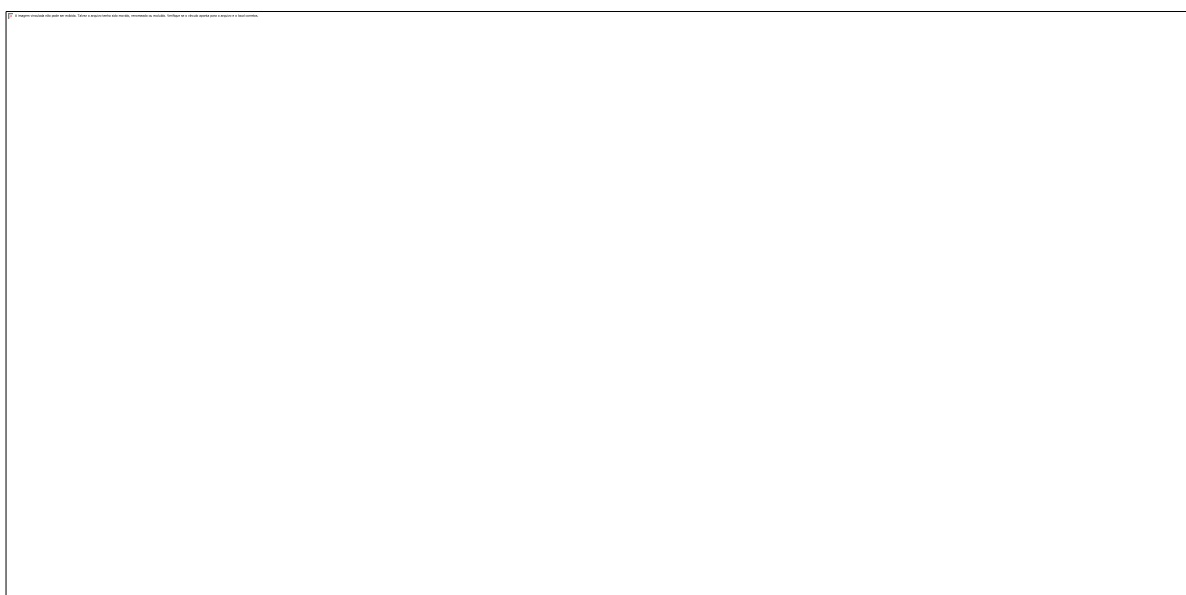


Tabela 2. d_{33} obtido para as nanofibras de PVDF puro e PVDF contendo nanopartículas de rGO.

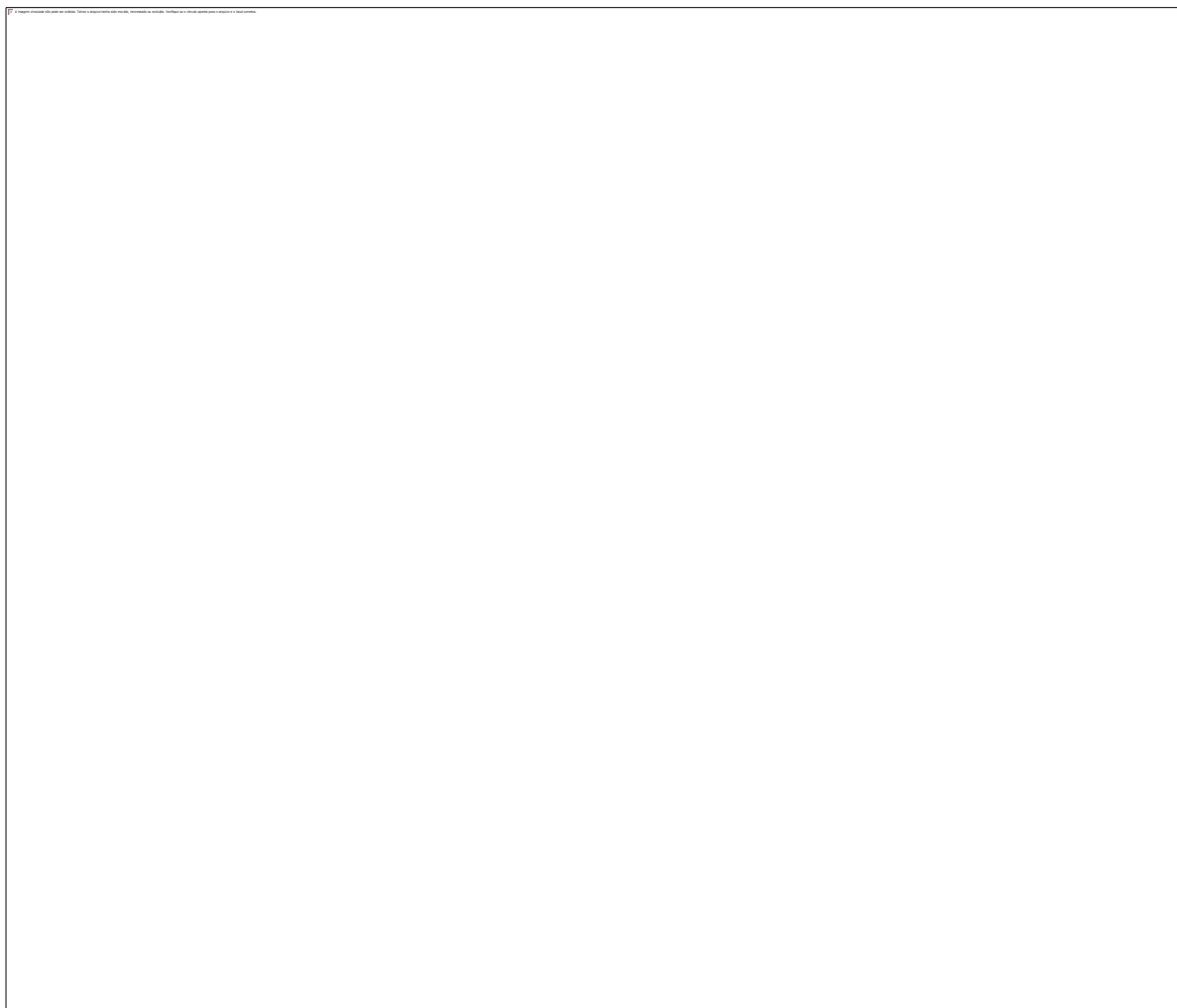


Figura 9. Fração relativa da fase β em função do coeficiente piezoelétrico d_{33} .

CÓDIGO: ET0661

AUTOR: MARIANA VITOR DUARTE DOS SANTOS

ORIENTADOR: MEYSAM MASHHADIKARIMI

TÍTULO: Produção de metal duro à base de NbC com ligante alterantivo de liga de alta entropia (CrMnFeCoNi)

Resumo

As ligas metálicas convencionais são compostas por uma matriz principal com pequenas adições de elementos, visando melhorar propriedades, mas apresentam limitações. Isso levou ao surgimento das ligas de alta entropia (HEAs), constituídas por cinco ou mais elementos principais em proporções semelhantes, oferecendo vantagens como elevada resistência, dureza, ductilidade, estabilidade térmica e resistência à corrosão. O sistema CrMnFeCoNi é um dos mais estudados e se destaca pela combinação de resistência mecânica, tenacidade em baixas temperaturas e superplasticidade, apesar de sua formação em solução sólida simples do tipo FCC. Devido às propriedades superiores, as HEAs têm sido investigadas como substitutas do cobalto em metais duros (carbeto cementados), tradicionalmente usados em ferramentas de corte e moldes. O Co, embora eficaz como ligante, é caro, escasso e prejudicial à saúde. Estudos mostram que HEAs como CrMnFeCoNi e NiFeCrWMo podem melhorar a dureza, a resistência à fratura e à corrosão desses materiais, mostrando desempenho superior ao dos convencionais WC-Co. Assim, o trabalho propõe o desenvolvimento da liga CrMnFeCoNi por moagem de alta energia, visando avaliar sua viabilidade como ligante alternativo para metais duros à base de nióbio, analisando microestrutura, estrutura cristalina e dureza dos compósitos obtidos.

Palavras-chave: Metais duros, Ligas de Alta Entropia, CrMnFeCoNi, NbC

TITLE: Production of NbC based hardmetal with alternative high-entropy alloy (CrMnFeCoNi) binder

Abstract

Conventional metallic alloys are composed of a main matrix with small additions of elements to improve properties, but they have limitations. This led to the emergence of high-entropy alloys (HEAs), formed by five or more principal elements in similar proportions, offering advantages such as high strength, hardness, ductility, thermal stability, and corrosion resistance. The CrMnFeCoNi system is one of the most studied, standing out for its combination of mechanical strength, toughness at cryogenic temperatures, and superplasticity, despite forming only a simple FCC solid solution.

Due to their superior properties, HEAs have been investigated as substitutes for cobalt in hardmetals (cemented carbides), traditionally used in cutting tools and molds. Although Co is effective as a binder, it is expensive, scarce, and harmful to health. Studies have shown that HEAs such as CrMnFeCoNi and NiFeCrWMo can improve hardness, fracture resistance, and corrosion resistance of these materials, outperforming conventional WC-Co. Therefore, this work proposes the development of the CrMnFeCoNi alloy through high-energy ball milling, aiming to evaluate its feasibility as an alternative binder for niobium-based hardmetals, analyzing the microstructure, crystalline structure, and hardness of the resulting composites.

Keywords: Hard Metals, High Entropy Alloys, CrMnFeCoNi, NbC

Introdução

As ligas metálicas convencionais são geralmente formadas por um elemento principal com adições secundárias em pequenas quantidades, visando melhorar propriedades físicas, mecânicas ou químicas (Gao, 2016). Exemplos incluem aços, ligas de alumínio, superligas de níquel, bem como ligas binárias ou ternárias, como latões (Cu-Zn), ZAMAC (Zn-Al-Mg-Cu) e ligas de solda (Sn-Pb). Essa prática consolidou-se pela limitação dos metais puros em alcançar desempenho elevado (Zhang et al., 2013). Apesar do amplo conhecimento sobre ligas com poucos elementos, o conceito de sistemas multicomponentes surgiu tardiamente, pois se acreditava que múltiplos elementos formariam compostos intermetálicos complexos (Lu et al., 2020). Contudo, a busca por maior desempenho impulsionou novas propostas (Gao et al., 2016). Nesse contexto, as ligas de alta entropia (HEAs) despontam como materiais promissores. Diferentemente das ligas tradicionais, são compostas por vários elementos principais em proporções quase equimolares, o que favorece soluções sólidas estáveis e propriedades como resistência mecânica, estabilidade térmica e desempenho magnético (Souza, 2023). O conceito, introduzido por Cantor et al. (2004), desafia o paradigma tradicional e abriu novas possibilidades de design (Zhang et al., 2015). Entre as HEAs, a CrMnFeCoNi é uma das mais estudadas. Seus cinco elementos (Cr, Mn, Fe, Co e Ni), embora apresentem estruturas cristalinas distintas (FCC e BCC), formam uma solução sólida monofásica estável do tipo FCC (Otto et al., 2013). Isso resulta em propriedades notáveis, como resistência à fratura, combinação entre resistência mecânica e ductilidade (Rogachev et al., 2019), superplasticidade (Shahmir et al., 2016), dureza elevada e excelente desempenho em condições extremas (Průša et al., 2018). Tais características tornam-na atraente para aplicações em setores aeroespacial, nuclear e criogênico. Recentemente, HEAs têm sido investigadas como ligantes para metais duros, superando ligantes convencionais em resistência à corrosão, oxidação, dureza e tenacidade (Chen et al., 2014; Velo et al., 2018). Os metais duros, compostos por uma fase cerâmica (ex.: WC, NbC, TiC) e uma metálica ligante, são amplamente usados em ferramentas de corte devido à alta dureza e resistência ao desgaste (Tavares, 2022). O cobalto, ligante mais comum, apresenta alto custo e toxicidade, estimulando a busca por substitutos (Lee et al., 2015). Estudos mostram que a CrMnFeCoNi e a NiFeCrWMo são alternativas promissoras: a primeira promove fases com módulo de elasticidade superior ao do WC e até ao do diamante (Velo et al., 2016), enquanto a segunda supera o desempenho do WC-8Co (Nakonechnyi et al., 2024). Assim, este trabalho tem como objetivo investigar a substituição do cobalto pela CrMnFeCoNi em compósitos de NbC.

Serão avaliadas suas propriedades microestruturais, morfológicas e mecânicas, considerando efeitos da moagem de alta energia, composição, tempo de moagem, sinterização e desempenho final do compósito NbC-CrMnFeCoNi.

Metodologia

Nesta seção, são apresentados os materiais, procedimentos e ferramentas utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa, além de mostrar todas as técnicas de caracterização utilizadas. A metodologia desenvolvida neste trabalho pode ser explicitada de forma simplificada de acordo com o fluxograma da Figura 1, o qual mostra as etapas de desenvolvimento para obtenção e caracterização das ligas de alta entropia. Os pós dos elementos constituintes da liga (cromo, manganês, ferro, cobalto e níquel) foram preparados a partir de fontes puras ou pré-ligas comerciais de alta pureza. Esses materiais foram cuidadosamente pesados em proporções estequiométricas, necessárias para obter a composição desejada da liga. A etapa principal do processo envolveu a moagem de alta energia. Utilizando um moinho planetário de alta energia, Pulverisette 7, os pós dos elementos foram combinados dentro do jarro de moagem, umedecido com álcool etílico, em corpos moedores (esferas), sendo fabricados em metal duro, com razão em massa de pó para bolas de 1:10, a uma velocidade de 400 rpm por 5 e 10 horas. A evolução estrutural da liga foi investigada através das técnicas de caracterização de Difração de Raios-X (DRX) e Microscópio Eletrônico de Varredura por Emissão de Campo (MEV), assim como Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS). As medidas foram realizadas em um difratômetro da marca SHIMADZU, modelo XRD7000, com uma velocidade de 1° por minuto e sob um passo de 0,02, com uma variação angular de 10° a 90°. E, o equipamento utilizado pertence ao Laboratório de Caracterização Estrutural dos Materiais (LCEM/UFRN). A técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) permitiu a visualização detalhada da microestrutura da liga, evidenciando a morfologia e auxiliando na avaliação da homogeneidade da liga. O equipamento utilizado foi o Microscópio Eletrônico de Varredura - modelo Auriga 40 da marca Carl Zeiss com EDS acoplado, instalado no Laboratório de Caracterização Estrutural dos Materiais (LCEM/UFRN). Os resultados foram interpretados e discutidos em relação aos objetivos do estudo, destacando as propriedades únicas da liga de alta entropia CrMnFeCoNi incorporada no NbC, obtidos através da moagem de alta energia, bem como suas potenciais aplicações e desafios futuros.

Resultados e Discussões

Na Figura 2, nota-se que cada elemento apresenta morfologia e granulometria distintas. O cromo (Cr) e o manganês (Mn) possuem partículas com geometria irregular e superfície rugosa, como a moagem ou a atomização por fusão e quebra. Já o ferro (Fe) apresenta morfologia predominantemente esférica. O cobalto (Co) e o níquel (Ni) também possuem partículas arredondadas, porém com diferentes graus de rugosidade superficial, sendo o Co mais liso e o Ni com superfícies texturizadas. A Figura 3 mostra a evolução morfológica da liga CrMnFeCoNi após moagem mecânica por 10 h, 20 h e 30 h. Com 10 horas de moagem, já é possível observar uma homogeneização parcial entre os elementos, com redução do tamanho de partícula. À medida que o tempo de

moagem aumenta para 20 h e 30 h, as partículas tornam-se progressivamente mais finas, com aspecto lamelar ou agregado, indicando intensa deformação plástica, soldagem fria e fratura dos pós durante o processo de moagem de alta energia. A comparação entre as Figuras 2 e 3 evidencia claramente o efeito dessa moagem na morfologia e microestrutura do material: enquanto os pós elementares exibem características morfológicas distintas e preservam suas identidades individuais, a liga moída por tempos crescentes apresenta uma evolução para uma morfologia mais homogênea e refinada, o que sugere a formação gradual de uma solução sólida multielementar — característica típica das ligas de alta entropia. As Figuras 4, 5 e 6 apresentam os mapeamentos de EDS da liga CrMnFeCoNi após 10, 20 e 30 horas de moagem mecânica, respectivamente. Na Figura 4 (10 h), as partículas exibem morfologia irregular, já com uma distribuição química bastante uniforme. Os teores dos elementos estão próximos de uma distribuição atômica uniforme, com o cobalto (21,66%) como o mais abundante e o cromo (18,95%) como o menos representado. Com 20 horas de moagem (Figura 5), as partículas tornam-se ainda mais deformadas e densificadas, evidenciando maior grau de trabalho mecânico. A homogeneidade química se mantém, com pequenas variações nas concentrações, como o aumento de Mn (21,94%) e Fe (20,54%) e leve redução do Cr (18,60%). Após 30 horas (Figura 6), observa-se uma microestrutura mais fragmentada e refinada, com partículas menores e contornos bem definidos. A composição química continua uniformemente distribuída, com o Co novamente como elemento majoritário (21,89%) e o Cr como o menos concentrado (18,20%). De forma geral, os resultados mostram que o aumento do tempo de moagem promove uma homogeneização progressiva dos elementos e o refino morfológico das partículas, favorecendo a formação de uma liga de alta entropia estável e quimicamente uniforme. Com base nos estudos de Lu et al. (2020) e Joseph et al. (2020), o Difratoograma de Raios X apresentado na Figura 7 confirma que a liga CrMnFeCoNi possui estrutura de solução sólida de fase única com arranjo cúbico de face centrada (CFC), típica de ligas de alta entropia. Esse tipo de estrutura está associado a elevada ductilidade e estabilidade térmica. De forma semelhante, os autores relatam que ligas como CoCrFeMnNi e Fe50Mn30Co10Cr10 DP-HEA também exibem a fase CFC, embora esta última possa coexistir com a fase HCP. No caso da CrMnFeCoNi, a presença exclusiva da fase CFC indica uma microestrutura homogênea e estável, favorecendo o bom desempenho mecânico e a resistência ao desgaste. O Difratoograma de Raios X apresentado na Figura 8 refere-se às amostras com composição 90% NbC–10%CrMnFeCoNi, submetidas à moagem mecânica por 10, 20 e 30 horas. Observa-se que a fase principal corresponde ao NbC, indicada pelos picos de difração bem definidos ao longo dos diferentes tempos de moagem. Com o aumento do tempo de moagem, nota-se um leve alargamento dos picos e variações na intensidade relativa, sugerindo a redução do tamanho do cristalito. Além disso, essas alterações podem indicar o início da formação de uma solução sólida ou reações interfaciais entre o NbC e os elementos da liga de alta entropia (CrMnFeCoNi). Tais resultados evidenciam que o tempo de moagem influencia significativamente na evolução microestrutural do compósito, favorecendo maior homogeneização e possível integração entre a fase cerâmica e o ligante metálico.

Nos resultados de EDS apresentados, observou-se que a composição química da liga de alta entropia (LEA) 90%NbC variou com o tempo de moagem, conforme ilustrado nas Figuras 7, 8 e 9. Na Figura 7 (10 h), verificou-se predominância de Nb (85,30%) e C (9,07%), com teores relativamente baixos dos elementos Ni, Mn, Co, Fe e Cr, indicando mistura inicial limitada entre o NbC e a matriz metálica. Na Figura 8 (20 h), houve

redução significativa do Nb para 63,29% e discreto aumento do C para 10,30%, sugerindo maior incorporação dos elementos da LEA e avanço na homogeneização da composição. Já na Figura 9 (30 h), o teor de Nb voltou a valores elevados (84,06%), enquanto Ni, Mn, Co e Fe apresentaram incremento, possivelmente associado a uma melhor dispersão da fase metálica, mas ainda sem homogeneização completa. Essas variações indicam que o tempo de moagem exerce influência direta na distribuição elementar, afetando o grau de mistura e a evolução microestrutural do compósito.

Conclusão

O estudo demonstrou que a moagem de alta energia aplicada à liga de alta entropia CrMnFeCoNi promoveu significativa evolução morfológica e microestrutural, resultando em partículas progressivamente mais refinadas e homogêneas com o aumento do tempo de moagem. A caracterização por MEV evidenciou a transformação gradual das partículas individuais dos elementos em uma microestrutura integrada, enquanto os mapeamentos de EDS confirmaram a distribuição uniforme dos constituintes, característica essencial de ligas de alta entropia. As análises de DRX mostraram a formação de solução sólida de estrutura CFC exclusiva para a liga CrMnFeCoNi, o que, segundo a literatura, está associado à elevada ductilidade e estabilidade térmica. Nos compósitos NbC–CrMnFeCoNi, observou-se a presença dominante do NbC, com redução do tamanho de cristalito e indícios de reações interfaciais, favorecendo maior homogeneização e possível integração entre a fase cerâmica e o ligante metálico. Assim, conclui-se que a utilização da liga CrMnFeCoNi como ligante alternativo para metais duros à base de NbC apresenta potencial promissor, combinando a estabilidade estrutural e as propriedades mecânicas típicas das ligas de alta entropia com a resistência ao desgaste característica dos carbeto refratários, evidenciando sua viabilidade como substituto para ligantes convencionais.

Referências

CANTOR, Brain et al. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys. *Materials Science and Engineering: A*, v. 375, p. 213-218, 2004. GAO, M. C.; YEH, J.-W.; LIAW, P. K.; ZHANG, Y. *High-Entropy Alloys* (1º ed.). Switzerland: Springer International, 2016. ZHANG, Yong et al. High-entropy alloys with high saturation magnetization, electrical resistivity and malleability. *Scientific reports*, v. 3, n. 1, p. 1455, 2013. MIRACLE, Daniel B.; SENKOV, Oleg N. A critical review of high entropy alloys and related concepts. *Acta materialia*, v. 122, p. 448-511, 2017. ZHANG, ZiJiao et al. Nanoscale origins of the damage tolerance of the high-entropy alloy CrMnFeCoNi. *Nature communications*, v. 6, n. 1, p. 10143, 2015. OTTO, Frederik et al. The influences of temperature and microstructure on the tensile properties of a CoCrFeMnNi high-entropy alloy. *Acta Materialia*, v. 61, n. 15, p. 5743-5755, 2013. PRŮŠA, Filip et al. Properties of a high-strength ultrafine-grained CoCrFeNiMn high-entropy alloy prepared by short-term mechanical alloying and spark plasma sintering. *Materials Science and Engineering: A*, v. 734, p. 341-352, 2018. ROGACHEV, A. S. et al. Structure and properties of equiatomic CoCrFeNiMn alloy fabricated by high-energy ball milling and spark plasma sintering. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 805, p.

1237-1245, 2019. KILMAMETOV, A. et al. High-pressure torsion driven mechanical alloying of CoCrFeMnNi high entropy alloy. *Scripta Materialia*, v. 158, p. 29-33, 2019. SHAHMIR, Hamed et al. Evidence for superplasticity in a CoCrFeNiMn high-entropy alloy processed by high-pressure torsion. *Materials Science and Engineering: A*, v. 685, p. 342-348, 2017. JOO, S.-H. et al. Tensile deformation behavior and deformation twinning of an equimolar CoCrFeMnNi high-entropy alloy. *Materials Science and Engineering: A*, v. 689, p. 122-133, 2017. JOSEPH, J. et al. On the enhanced wear resistance of CoCrFeMnNi high entropy alloy at intermediate temperature. *Scripta Mater*, v. 186, p. 230–235, 2020. doi: 10.1016/j.scriptamat.2020.05.053. VELO, Irene L. et al. Fabrication and characterization of WC-HEA cemented carbide based on the CoCrFeNiMn high entropy alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 746, p. 1-8, 2018. CHEN, Chi-San et al. Novel cermet material of WC/multi-element alloy. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 43, p. 200-204, 2014. TAVARES, Matheus de Medeiros. Estudo da microestrutura e das propriedades do metal duro WC-(Fe-Nb/NbH-C) obtido por moagem de alta energia e spark plasma sintering. 2022. TSUDA, Keiichi. History of development of cemented carbides and cermet. *SEI Technical Review*, v. 82, p. 16-20, 2016. LEE, Sungkyu et al. Spark plasma sintering of WC–Co tool materials prepared with emphasis on WC core–Co shell structure development. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 53, p. 41-45, 2015. LU, C. et al. Comparative corrosion behavior of Fe₅₀Mn₃₀Co₁₀Cr₁₀ dual-phase high-entropy alloy and CoCrFeMnNi gh-hientropy alloy in 3.5 wt% NaCl solution. *Journal Alloys and Compounds*, v. 842, p. 155824, 2020. doi: 10.1016/j.jallcom.2020.155824 SAUNI, Riitta et al. Cancer incidence among Finnish male cobalt production workers in 1969–2013: a cohort study. *BMC cancer*, v. 17, n. 1, p. 1-8, 2017. SOUZA, Fernando Oliveira do Nascimento. Caracterização da liga de alta entropia CrMnFeCoNi obtida através de moagem mecânica de alta energia. 2023. NAKONECHNYI, S. O.; YURKOVA, A. I.; LOBODA, P. I. WC-based cemented carbide with NiFeCrWMo high-entropy alloy binder as an alternative to cobalt. *Vacuum*, v. 222, p. 113052, 2024.

Anexos

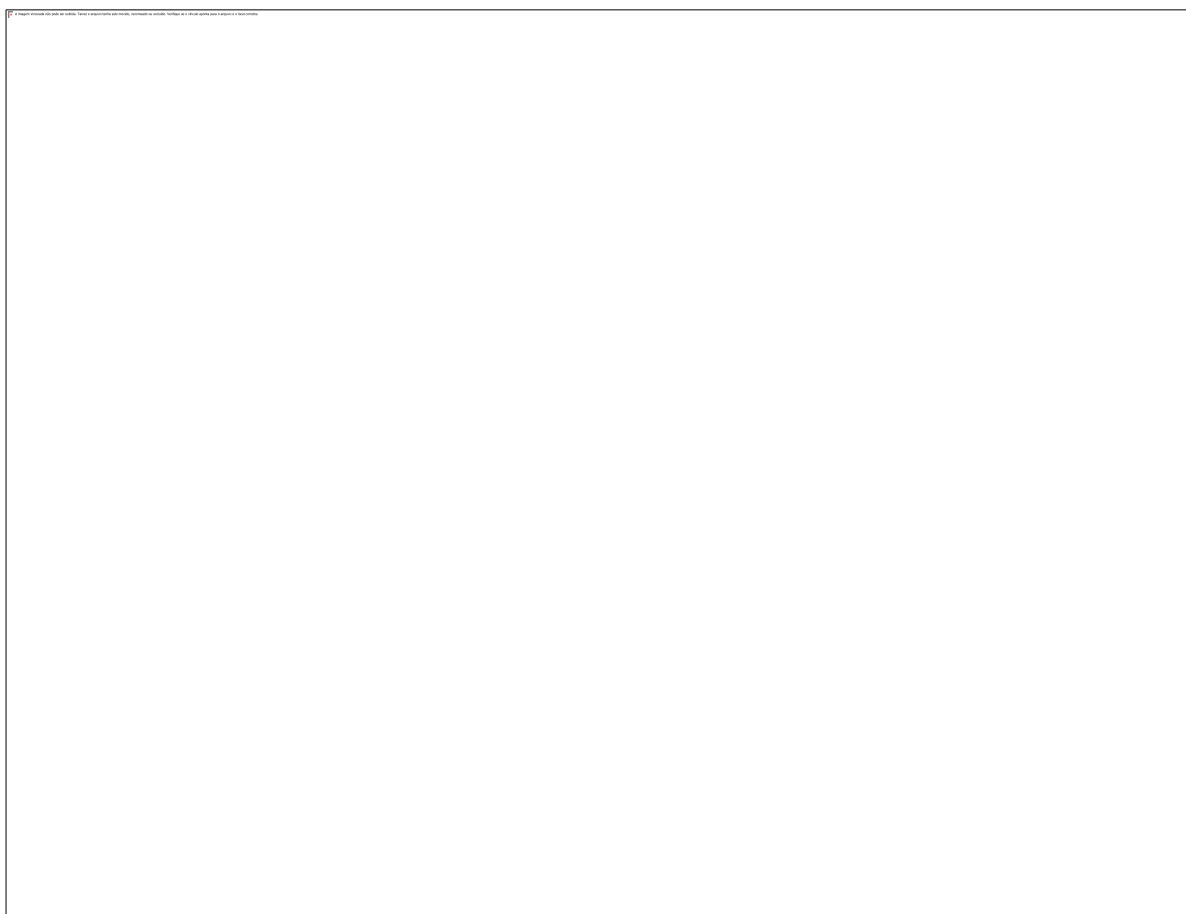


Fig. 1 - Fluxograma geral de programação experimental (Fonte: Autor)

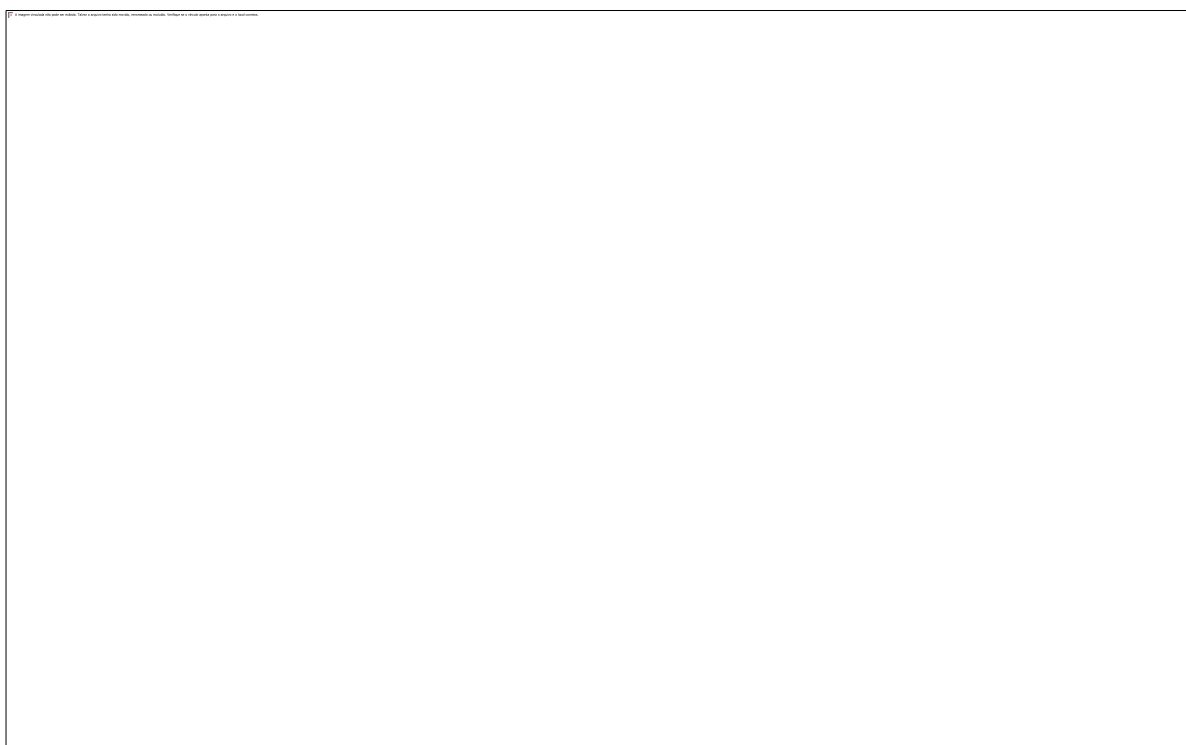


Fig. 2 - MEV dos pós elementares para a formação da liga de alta entropia CrMnFeCoNi (Fonte: Autor)

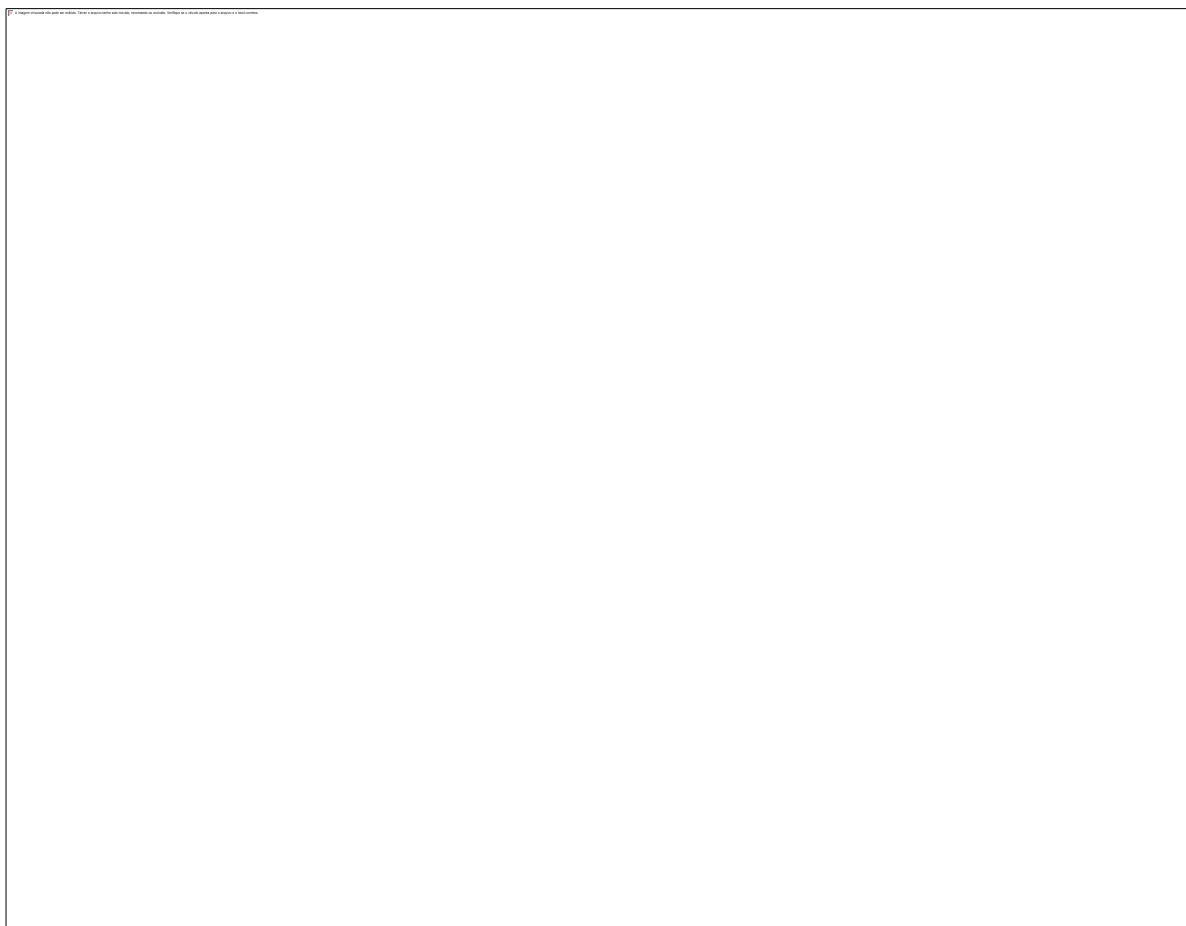


Fig. 3 - MEV da liga CrMnFeCoNi moídas em 10,20 e 30 horas (Fonte: Autor)

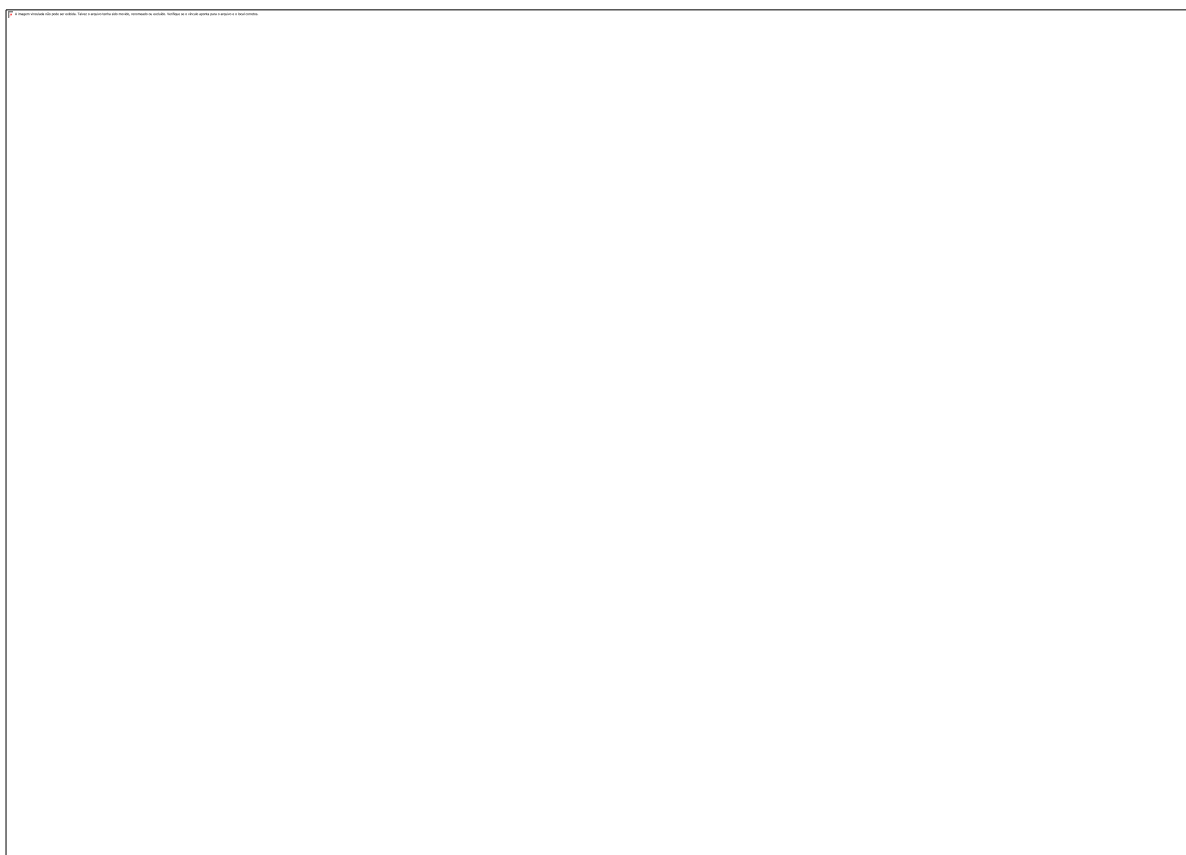


Fig. 4 - Mapeamento de EDS da LEA por 10 horas (Fonte: Autor)

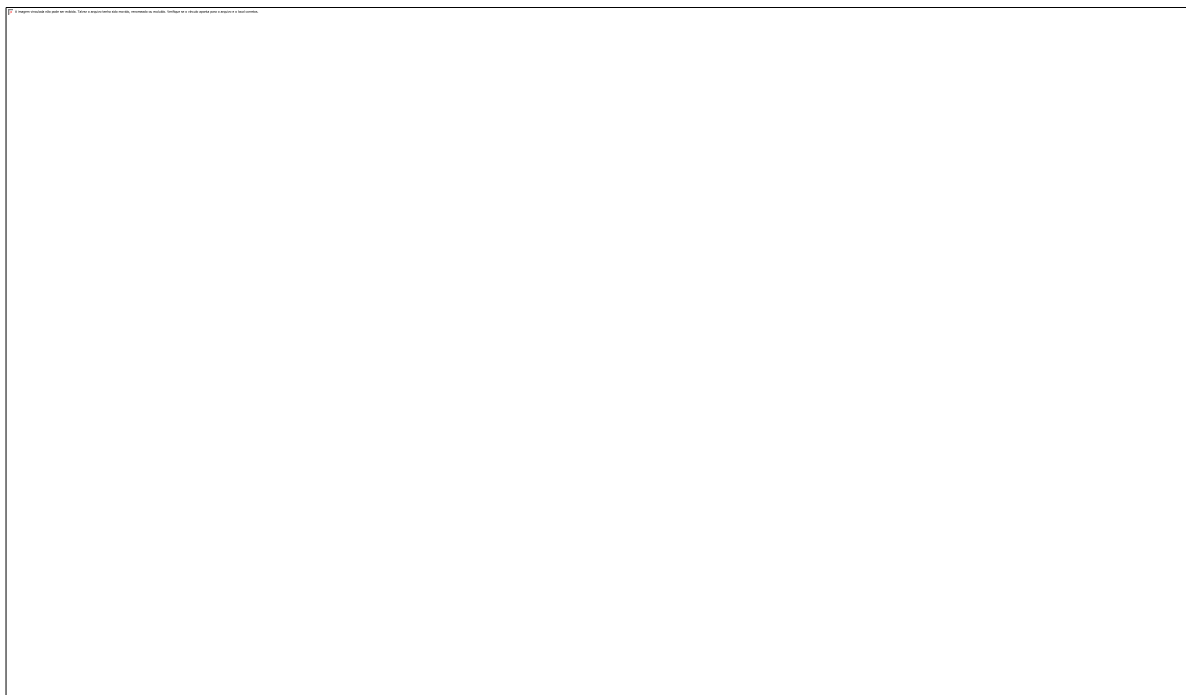


Fig. 5 - Mapeamento de EDS da LEA por 20 horas (Fonte: Autor)

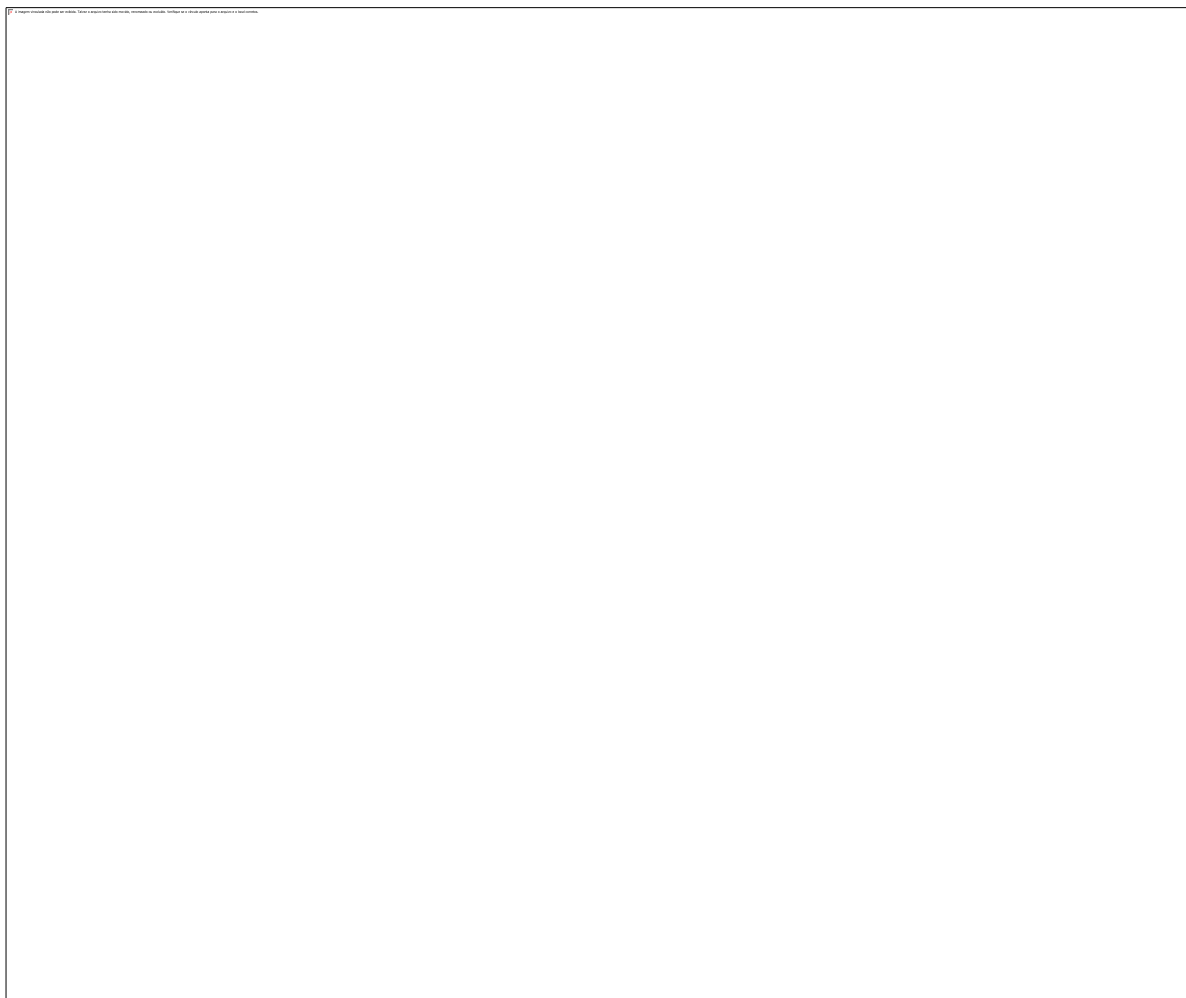


Fig. 6 - Mapeamento de EDS da LEA por 30 horas (Fonte: Autor)

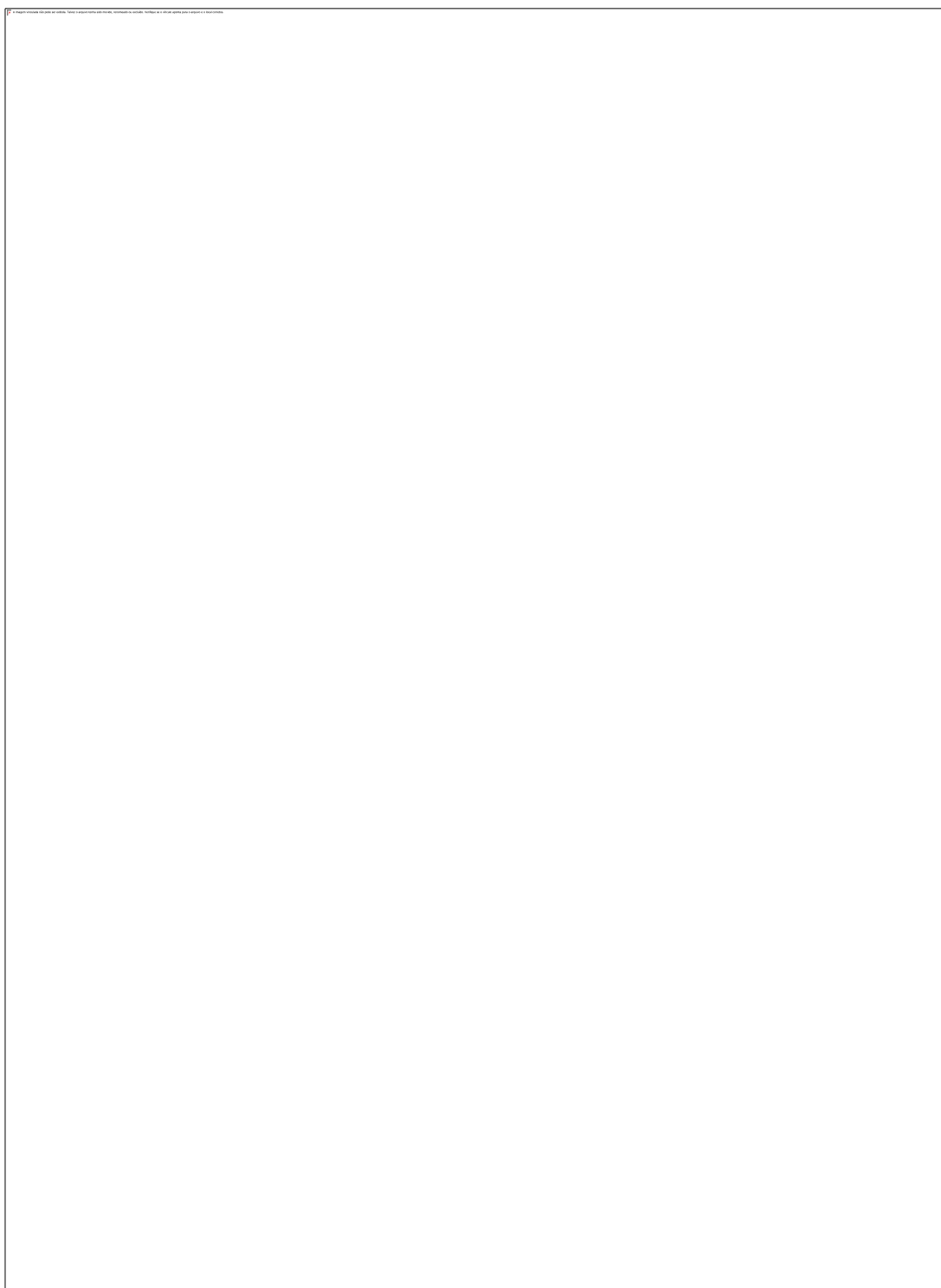


Fig. 7 - Mapeamento de EDS DA LEA 90%NbC - 10h (Fonte: Autor)

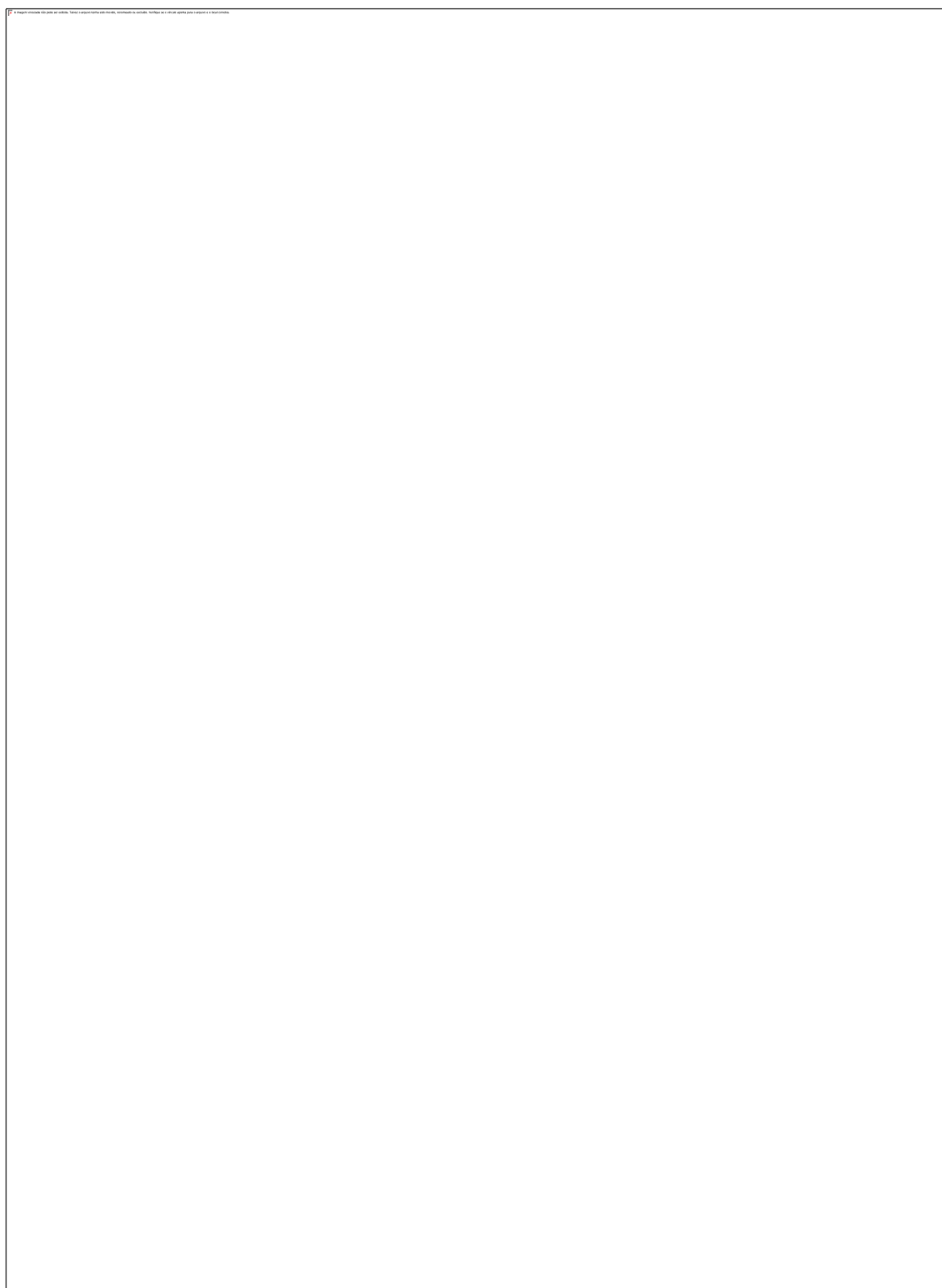


Fig. 8 - Mapeamento de EDS DA LEA 90%NbC - 20h (Fonte: Autor)

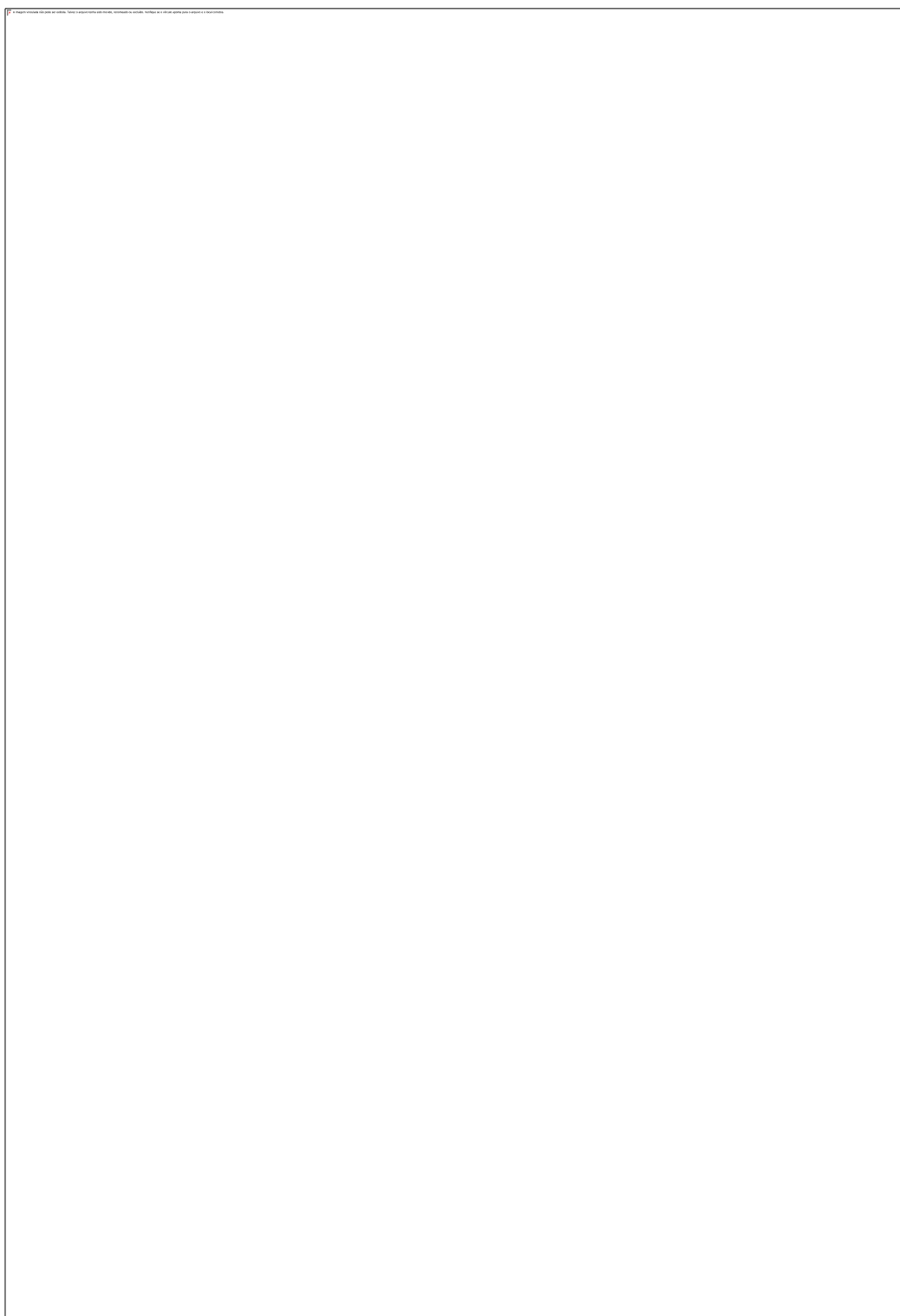


Fig. 9 - Mapeamento de EDS DA LEA 90%NbC - 30h (Fonte: Autor)

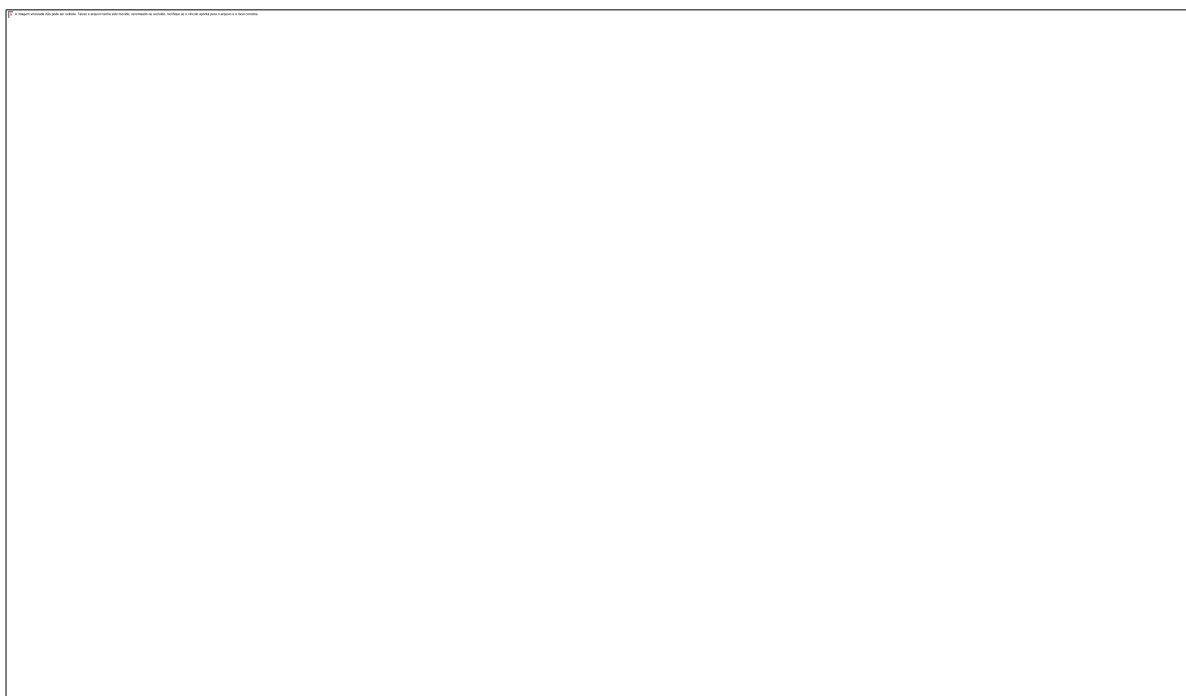


Fig. 10 - Padrões de DRX da liga CrMnFeCoNi após a MAE, moídos por 10, 20 e 30 horas (Fonte: Autor)

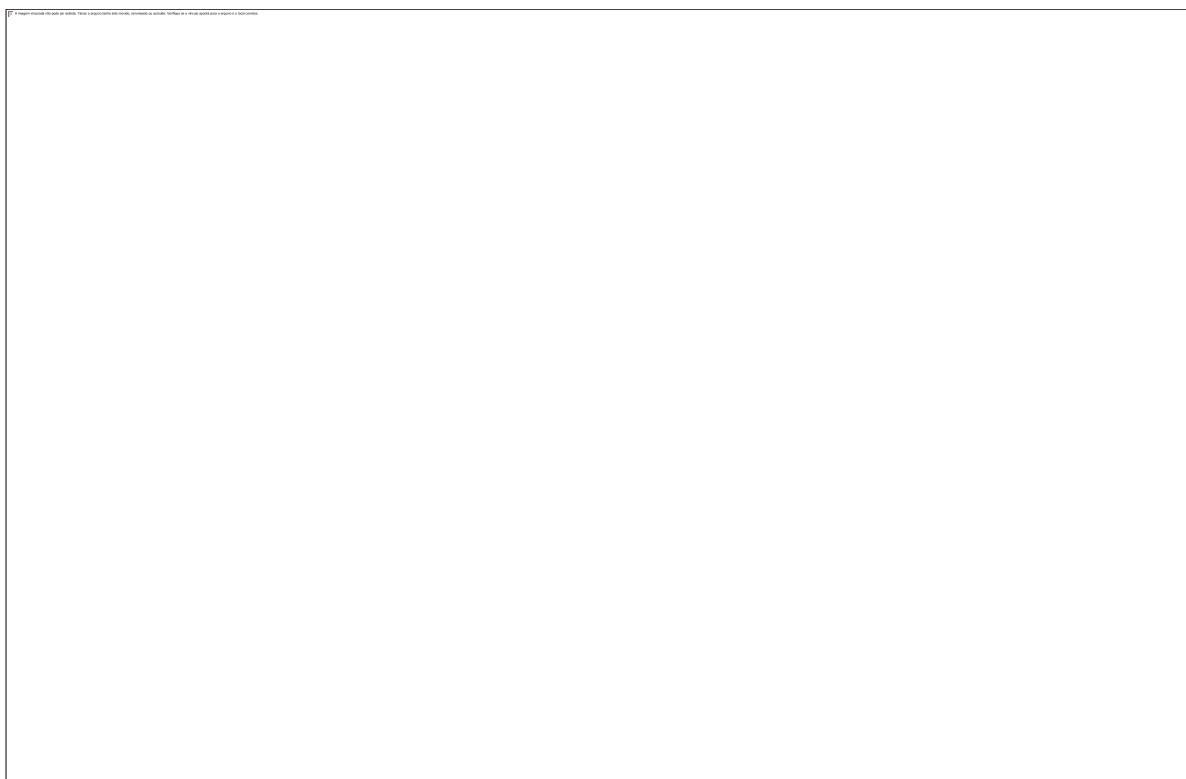


Fig. 11 - Padrões de DRX dos pós compósitos de NbC-10%CrMnFeCoNi, com ligante moído por 10, 20 e 30 horas (Fonte: Autor)

CÓDIGO: ET0676

AUTOR: NÍCOLAS ANCHIETA DE BRITO DANIEL

ORIENTADOR: HUMBERTO NEVES MAIA DE OLIVEIRA

TÍTULO: Produção de Green Diesel a partir do Ácido Oleico utilizando Catalisadores de NiMo suportados em Carvão Ativado e Alumina em Processos Supercríticos.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a produção de green diesel, a partir do ácido oleico, utilizando catalisadores à base de liga NiMo em processos realizados em condições supercríticas. A motivação do estudo reside na busca por alternativas energéticas menos poluentes e mais sustentáveis, especialmente no setor de aviação, que busca reduzir sua pegada de carbono. Foram preparados catalisadores com suportes de alumina e carvão ativado por co-impregnação e calcinados a 500 °Cs resultados revelaram que o suporte catalítico exerce influência significativa na conversão e na seletividade da reação. O catalisador de NiMo suportado em alumina apresentou maior eficiência em condições anidro, com maior constante cinética e maior produção de hidrocarbonetos saturados, enquanto o suporte de carvão ativado destacou-se em presença de água, produzindo maiores rendimentos de alcanos devido a reações hidrotérmicas. Além disso, a presença de água mostrou efeitos distintos dependendo do suporte: promoveu reações de hidrogenação em carvão, mas compete pelos sítios ativos na alumina, inibindo sua atividade catalítica. A cinética seguiu modelo pseudo-primeira ordem, permitindo compreender os mecanismos envolvidos. Os resultados indicam que a desoxigenação catalítica em condições supercríticas é uma rota promissora e sustentável para a produção de combustíveis renováveis, contribuindo para a redução do impacto ambiental.

Palavras-chave: Green diesel, descarboxilação, ácido oleico, catalisadores NiMo

TITLE: Production of Green Diesel from Oleic Acid using NiMo Catalysts supported on Activated Carbon and Alumina in Supercritical Processes.

Abstract

The main objective of this study is to evaluate the production of green diesel from oleic acid using NiMo alloy catalysts in processes conducted under supercritical conditions. The study is motivated by the search for less polluting and more sustainable energy alternatives, especially in the aviation sector, which seeks to reduce its carbon

footprint. Catalysts with alumina and activated carbon supports were prepared by co-impregnation and calcined at 500 °C. The results revealed that the catalytic support significantly influences the conversion and reaction selectivity. The alumina-supported NiMo catalyst showed greater efficiency under anhydrous conditions, with a higher kinetic constant and greater production of saturated hydrocarbons, while the activated carbon support excelled in the presence of water, producing higher alkane yields due to hydrothermal reactions. Furthermore, the presence of water showed distinct effects depending on the support: it promoted hydrogenation reactions in carbon but competed for the active sites in alumina, inhibiting its catalytic activity. The kinetics followed a pseudo-first-order model, allowing us to understand the mechanisms involved. The results indicate that catalytic deoxygenation under supercritical conditions is a promising and sustainable route for the production of renewable fuels, contributing to the reduction of environmental impact.

Keywords: Green diesel, decarboxylation, oleic acid, NiMo catalysts

Introdução

1. INTRODUÇÃO

A constante preocupação global com as mudanças climáticas e a dependência de combustíveis fósseis, largamente responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono, óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio, têm incentivado a busca por alternativas energéticas renováveis e menos poluentes (CASTRO et al., 2019). Neste contexto, o setor de aviação, que contribui com uma parcela das emissões globais de CO₂, busca pela redução de sua pegada de carbono, direcionando esforços para a utilização de biocombustíveis de aviação (bioquerosene ou Sustainable Aviation Fuels – SAF) (CASTRO et al., 2019).

O bioquerosene, ou green diesel, surge como alternativa promissora ao querosene convencional derivado do petróleo (CASTRO et al., 2019). Diferentemente do biodiesel tradicional (ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos), o green diesel é composto por hidrocarbonetos que apresentam propriedades físico-químicas superiores, como alto número de cetano, alta densidade energética, excelente estabilidade térmica e oxidativa, baixo ponto de congelamento e compatibilidade total com o petrodiesel e a infraestrutura de refino e distribuição existente (Lucantonio et al., 2023). Além disso, sua utilização resulta em redução substancial das emissões de GEE, variando entre 41% e 85% em comparação com o diesel derivado do petróleo (Lucantonio et al., 2023).

A produção de green diesel a partir de biomassas oleaginosas, como óleos vegetais, é realizada por meio de processos de desoxigenação (Lucantonio et al., 2023). Estes processos catalíticos removem o oxigênio das moléculas na forma de subprodutos como água, monóxido de carbono e dióxido de carbono, por meio de reações como a hidrodesoxigenação (HDO), descarbonilação (DCO) e descarboxilação (DCO₂), respectivamente (Gosselink et al., 2013). Assim, HDO resulta em um alcano com o mesmo número de carbonos do ácido graxo precursor, a DCO e a DCO₂ produzem hidrocarbonetos com uma cadeia carbônica um átomo de carbono a menos (Pimenta et al., 2021).

Para evitar a competição entre a produção de alimentos e combustíveis, as pesquisas têm se focado na utilização de matérias-primas não comestíveis e resíduos (Gosselink et al., 2013). Dentre as diversas biomassas, como óleo de girassol, óleo de soja, e óleos de cozinha usados, destacam-se os óleos vegetais compostos majoritariamente por triglicerídeos e ácidos graxos de cadeia longa (C16-C18) (Gosselink et al., 2013).

O ácido oleico, um ácido graxo insaturado de 18 átomos de carbono (C18), é amplamente investigado como composto modelo para estudos de desoxigenação devido à sua similaridade estrutural com os componentes majoritários de óleos vegetais (Gosselink et al., 2013). A descarboxilação do ácido oleico é um caminho relevante para a produção de green diesel, resultando principalmente em heptadecano (C17), um alcano de cadeia longa, com a eliminação de CO₂ (CASTRO et al., 2019).

A realização desses processos frequentemente envolve condições hidrotérmicas, caracterizadas por altas temperaturas e altas pressões na presença de água, utilizando catalisadores heterogêneos (Xiangze et al., 2022). Dentre os catalisadores, destacam-se o Níquel-Raney e catalisadores à base de metais de transição suportados em óxidos ou carbono.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a produção de combustível renovável a partir do ácido oleico, utilizando catalisadores à base de liga NiMo em processos supercríticos. Para isso, foram realizados experimentos variando os catalisadores e suportes e presença de água como co-reagente, de modo a compreender a influência do suporte catalítico e otimizar a conversão do ácido oleico. A análise dos produtos obtidos foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, permitindo avaliar tanto a distribuição dos hidrocarbonetos formados quanto a cinética aparente de consumo do ácido oleico.

Metodologia

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos e análises foram realizados no Laboratório de Tecnologia Supercrítica e Biodiesel e no NUPEG, ambos fazem parte do Núcleo de Tecnologia da UFRN. A matéria prima selecionada para o processo foi o ácido oleico (AO) grau PA da marca ACS, devido ser amplamente utilizado como composto modelo para os estudos de desoxigenação (Gosselink et al., 2013).

A metodologia utilizada para a preparação dos catalisadores foi adaptada de (Pimenta et al., 2021). Onde os suportes utilizados foram o carvão ativado comercial em pó, da marca Neon e alumina comercial, que foram impregnados com soluções aquosas de nitrato de níquel (Ni(NO₃)₂·6H₂O) e heptamolibdato de amônio ((NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O), todos PA e da marca Neon. Foi selecionado um volume dos sais para o preparo das concentrações desejadas nos catalisadores (Ni 5% e Mo 15%). A preparação dos catalisadores foi realizada por meio do método de co-impregnação por

umidade e calcinados em uma temperatura de 500°C por volta de 5 horas. As amostras após calcinadas foram encaminhadas para a caracterização.

A metodologia de reação de descarboxilação foi adaptada de (Swathi et al., 2019). O aparato experimental utilizado na reação é composto de um reator de batelada 4848 da marca Parr, um controlador do reator para temperatura e agitação, linhas de gases de e um kitassato na linha de saída do reator conforme a Figura 1.

No reator de batelada, com capacidade de 300 mL, foram adicionados 100 mL de ácido oleico (AO) grau PA. Nos experimentos, utilizou-se uma razão mássica de AO/catalisador de 20:1. As condições operacionais do reator foram temperatura de 350 °C, uma atmosfera de nitrogênio com pressão inicial de, aproximadamente, 80 psi e agitação constante, por volta de 300 rpm. A reação foi realizada por 5 horas, e amostras foram coletadas a cada 30 minutos, até o tempo de 180 minutos, para posterior caracterização. Foram realizadas as seguintes reações conforme a tabela 1, em que nas reações DCX3 e DCX4 foram adicionados 5 mL de água como reagente.

Após a reação, as amostras recolhidas foram caracterizadas em um GCMS-QP2010 Ultra, da marca Shimadzu Corporation, equipado com uma coluna capilar DB-5 (30 m x 0,25 mm x 0,10 µm). Foi utilizado como solvente o diclorometano PA para determinação da conversão e distribuição de hidrocarbonetos similar a metodologia utilizada por (SHI et al., 2018).

Resultados e Discussões

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção do Relatório estão presentes os resultados obtidos dos experimentos, com suas discussões. Começando com a discussão sobre com a análise dos resultados das reações de descarboxilação e seus rendimentos. Com isso, seguiu-se para a análise e discussão dos resultados principais produtos de cada reação e a influência dos catalisadores e suporte neles.

3.1 Rendimentos:

Como pode ser observado pelo gráfico 1, o maior rendimento em hidrocarbonetos saturados foi de 14,09%, na reação DCX3 utilizando o catalisador NiMo/CA com a adição de 5 mL de água.

Os resultados obtidos nas reações de descarboxilação do ácido oleico evidenciam diferenças significativas quanto ao rendimento em hidrocarbonetos, seletividade e grau de craqueamento em função do suporte catalítico e da presença de água como co-reagente.

Inicialmente, observa-se que a reação DCX2 (NiMo/Al₂O₃ sem água) apresentou melhor desempenho em termos de conversão e seletividade para hidrocarbonetos saturados 10,0% quando comparada à reação DCX1 (NiMo/CA sem água), que atingiu apenas 3,23%. Esse resultado sugere que a alumina favorece uma maior desoxigenação seletiva, enquanto o carvão ativado tende a promover reações paralelas, como o craqueamento, o que é corroborado pela formação de 5,29% de compostos insaturados e ácidos graxos craqueados em DCX1.

A influência da adição de água no meio reacional foi bastante distinta entre os suportes. Para o carvão ativado, a presença de 5 mL de água (DCX3) aumentou consideravelmente o rendimento de hidrocarbonetos saturados, alcançando 14,09%, valor quase cinco vezes superior ao obtido na ausência de água (3,23%). Esse comportamento indica que a água pode atuar sinergicamente com o carvão ativado, promovendo reações hidrotérmicas que auxiliam na remoção de oxigênio e estabilização dos radicais intermediários. Por outro lado, para o suporte de alumina, a adição de água (DCX4) resultou em uma queda expressiva no rendimento (0,83%), possivelmente devido ao bloqueio de sítios ativos pela adsorção competitiva de moléculas de água, reduzindo a atividade catalítica.

No que se refere ao craqueamento, verificou-se que o suporte de carvão ativado (DCX1 e DCX3) tende a favorecer a formação de produtos leves e ácidos graxos fragmentados, enquanto a alumina (DCX2 e DCX4) apresentou menor incidência desse fenômeno, sugerindo maior estabilidade do processo. A conversão global do ácido oleico também seguiu essa tendência, sendo superior nas reações conduzidas com NiMo/Al₂O₃, ainda que a seletividade tenha sido fortemente afetada pela presença de água.

3.2 Comparação entre catalisadores

De modo geral, o catalisador NiMo/Al₂O₃ apresentou maior seletividade para hidrocarbonetos saturados em condições anidras, enquanto o NiMo/CA se mostrou mais sensível à adição de água, alcançando os melhores rendimentos globais quando a reação foi conduzida em meio úmido. Essa diferença reforça o papel do suporte como modulador da atividade e seletividade catalítica, aspecto já destacado em trabalhos anteriores (Pimenta et al., 2021; Xiangze et al., 2022).

3.3 Distribuição dos principais produtos

A Figura 2 apresenta os principais produtos formados em cada reação, diferenciando-se entre hidrocarbonetos saturados e insaturados.

Na reação DCX1 (NiMo/CA sem água), nota-se a predominância de 1-dodeceno (4,59%) e a formação de insaturados adicionais, indicando baixa eficiência na saturação e maior propensão ao craqueamento, típica do suporte de carvão ativado.

Na reação DCX2 (NiMo/Al₂O₃ sem água), o produto majoritário foi o 2-metil dodecano (7,49%), acompanhado por menores teores de insaturados, evidenciando maior seletividade do suporte de alumina para a formação de alcanos de cadeia longa.

A reação DCX3 (NiMo/CA com água) destacou-se pelo maior rendimento global de saturados, especialmente o 2-metil dodecano (6,94%) e 2-metil tridecano (3,03%). A presença de água pareceu favorecer a hidrogenação, reduzindo a formação de insaturados.

Por fim, a reação DCX4 (NiMo/Al₂O₃ com água) apresentou comportamento oposto, com baixa formação de saturados (máximo de 0,83%) e prevalência do insaturado 1-dodeceno (2,34%). Esse resultado sugere inibição da atividade catalítica em alumina devido à competição da água pelos sítios ativos.

De maneira geral, os gráficos reforçam a influência significativa do suporte e da adição de água sobre a seletividade e eficiência da reação, em concordância com estudos prévios (Pimenta et al., 2021; Gosselink et al., 2013).

3.4 Cinética de consumo do ácido oleico

A cinética aparente de consumo do ácido oleico (AO) foi avaliada assumindo um modelo de pseudo-primeira ordem, no qual o gráfico 2 de $\ln\left[\frac{C_0}{C}\right]$ em função do tempo permite estimar a constante cinética aparente (K_{app}) e o coeficiente de determinação (R^2) do ajuste linear.

Os resultados estão resumidos na Tabela 2.

Observa-se que a reação DCX2 (NiMo/Al₂O₃ sem água) apresentou a maior constante cinética aparente $K_{app}=0,0146 \text{ min}^{-1}$, confirmando a superioridade da alumina como suporte em meio anidro. Esse resultado está em consonância com a maior seletividade para hidrocarbonetos saturados já discutida anteriormente, evidenciando que esse sistema não apenas favorece a rota desejada, mas também acelera a conversão do AO.

Em contraste, a reação DCX1 (NiMo/CA sem água) apresentou menor $K_{app}=0,0100 \text{ min}^{-1}$, embora ainda com boa linearidade $R^2=0,91$. Esse comportamento reflete a menor eficiência do carvão ativado como suporte na ausência de água, associado à maior ocorrência de craqueamento e formação de insaturados.

A presença de água mostrou efeitos distintos para os suportes. No caso do carvão ativado (DCX3), o ajuste cinético apresentou baixa correlação $R^2=0,37$, com $K_{app}=0,0033 \text{ min}^{-1}$, indicando comportamento instável e irregular. Apesar da maior formação de saturados observada em termos de rendimento, a taxa global de consumo do AO não seguiu uma tendência cinética clara, sugerindo a ocorrência de reações paralelas e possíveis oscilações na disponibilidade de hidrogênio.

Já no caso da alumina (DCX4), a adição de água resultou em um ajuste bastante consistente $R^2=0,96$, porém com uma constante cinética reduzida $k_{app}=0,0093 \text{ min}^{-1}$ em comparação ao sistema anidro (DCX2). Esse resultado reforça a hipótese de que a água pode competir com o AO pelos sítios ativos da alumina, inibindo parcialmente a atividade catalítica.

Conclusão

4. CONCLUSÃO

A descarboxilação do ácido oleico utilizando catalisadores de níquel-molibdênio suportados em carvão ativado e alumina demonstrou o potencial desses sistemas para a produção de green diesel. Os resultados evidenciaram que o suporte exerce papel crucial na conversão e seletividade: enquanto o NiMo/Al₂O₃ apresentou maior eficiência em meio anidro (DCX2), com a maior constante cinética aparente $K_{app}=0,0146 \text{ min}^{-1}$ e elevada seletividade para hidrocarbonetos saturados, o NiMo/CA mostrou-se mais eficiente com a presença de água (DCX3), alcançando os maiores rendimentos.

A análise cinética mostrou que o modelo de pseudo-primeira ordem de conversão do ácido oléico, possui uma boa correlação linear em quase todas as condições. O efeito da água foi benéfico no caso do carvão ativado, promovendo reações hidrotérmicas e maior rendimento de alcanos, mas negativo sobre a alumina, provavelmente pela competição por sítios ativos.

Dessa forma, o trabalho atingiu seu objetivo de avaliar a influência do suporte catalítico e da presença de água na conversão do ácido oleico para a produção de green diesel. Os resultados obtidos contribuem para a compreensão dos mecanismos envolvidos e indicam caminhos para a otimização do processo em estudos futuros.

Referências

5. REFERÊNCIAS

CASTRO, Allan Coelho de; ANDRADE, Vinícius Agostinho de; FERREIRA, Vinícius Lima. Produção de combustível renovável de aviação através de processos hidrotérmicos utilizando óleo de mamona. 2019.

GOSSELINK, Robert W. et al. Reaction pathways for the deoxygenation of vegetable oils and related model compounds. *ChemSusChem*, v. 6, n. 9, p. 1576-1594, 2013.

LUCANTONIO, Stefania et al. Green diesel production via deoxygenation process: a review. *Energies*, v. 16, n. 2, p. 844, 2023.

PIMENTA, Joao Lourenco Castagnari Willimann et al. Deoxygenation of vegetable oils for the production of renewable diesel: Improved aerogel based catalysts. *Fuel*, v. 290, p. 119979, 2021.

MUKUNDAN, Swathi et al. Highly active and robust Ni–MoS₂ supported on mesoporous carbon: a nanocatalyst for hydrodeoxygenation reactions. *RSC advances*, v. 9, n. 30, p. 17194-17202, 2019.

SHI, Ze et al. Hydrotreating lipids for aviation biofuels derived from extraction of wet and dry algae. Journal of cleaner production, v. 204, p. 906-915, 2018.

DU, Xiangze et al. Molybdenum carbide as catalyst in biomass derivatives conversion. Journal of Energy Chemistry, v. 73, p. 68-87, 2022.

Anexos

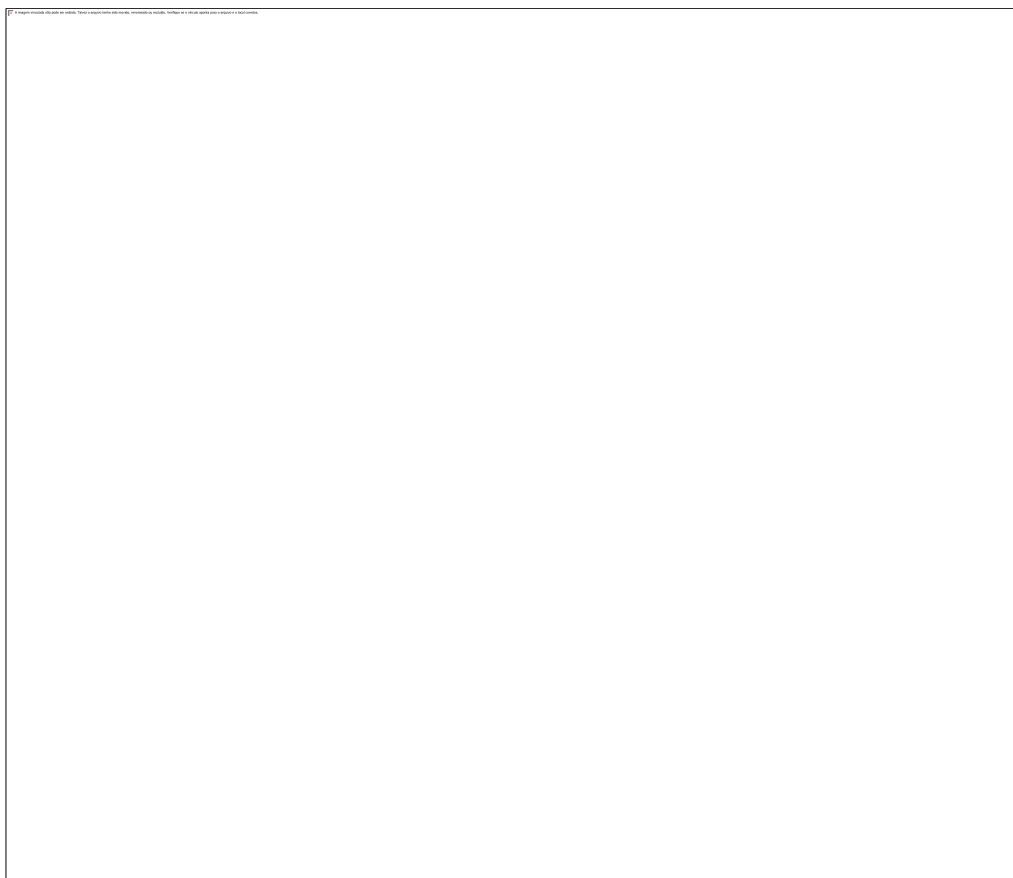


Figura 1- Aparato experimental

Table 1: Reactions of decarboxylation

Tabela 1- Reações de descarboxilação



Gráfico 1- Rendimentos das Reações de descarboxilação



Figura 2- principais produtos de cada reação

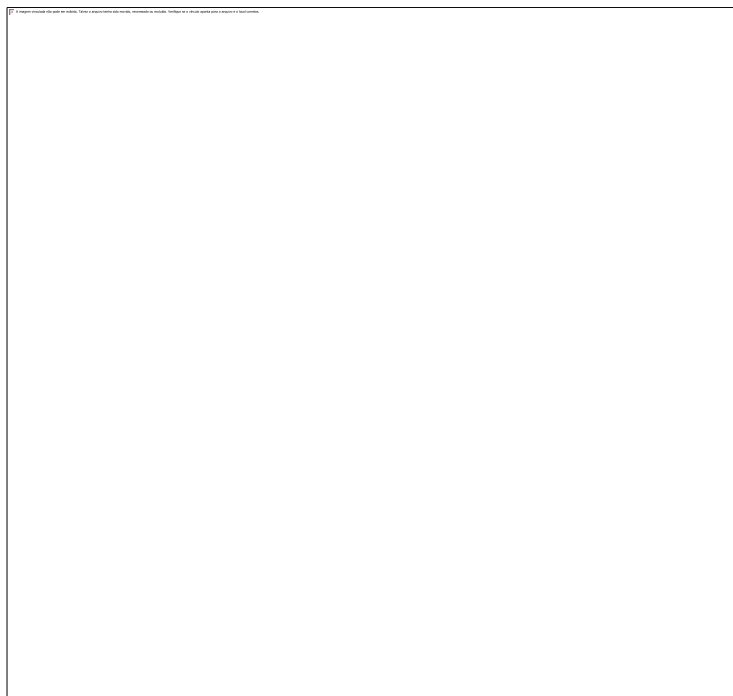


Gráfico 2- Modelo cinético de pseudo-primeira ordem

Table 2 – Apparent kinetic constants for the decarboxylation reactions of AO

Tabela 2 – Constantes cinéticas aparentes para as reações de descarboxilação do AO

CÓDIGO: ET0697

AUTOR: LUCAS DE ARAUJO NERI DOS SANTOS

ORIENTADOR: CARLSON PEREIRA DE SOUZA

TÍTULO: ESTUDO DA OBTENÇÃO DE CARBETO MISTO DE TUNGSTÊNIO E MOLIBDÊNIO ATRAVÉS DE REAÇÃO GÁS SÓLIDO

Resumo

O desenvolvimento de materiais avançou significativamente nos últimos anos, com o uso de materiais com propriedades específicas para a fabricação de produtos industriais. Isso tem melhorado a produtividade e reduzido os gastos de energia. Esses avanços têm promovido o crescimento das aplicações em processos catalíticos e atendido às necessidades de ferramentas e instrumentos na indústria. Carbeto são compostos químicos no qual o carbono se combina com um elemento metálico ou semi-metálico, podendo apresentar diversas aplicações, como materiais cerâmicos de alta resistência e catalisadores em reações químicas. O presente trabalho tem como objetivo sintetizar carbeto misto de tungstênio e molibdênio a partir de precursores comerciais, paratungstato de amônio (APT) e heptamolibdato de amônio (HMA). As sínteses foram realizadas em reator de leito fixo, a partir de reação gás sólido em diferentes condições de vazão, isoterma e proporções de massa. Através de caracterizações por difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura e fluorescência de raios-X foi possível identificar o comportamento de formação do carbeto e suas morfologias.

Palavras-chave: tungstênio, molibdênio, carbeto misto, difração de raios-X.

TITLE: STUDY OF OBTAINING MIXED TUNGSTEN AND MOLYBDENUM CARBIDE THROUGH SOLID GAS REACTION

Abstract

Materials development has advanced significantly in recent years, with the use of materials with specific properties for the manufacture of industrial products. This has improved productivity and reduced energy costs. These advances have promoted the growth of applications in catalytic processes and met the needs for tools and instruments in the industry. Carbides are chemical compounds in which carbon combines with a metallic or semi-metallic element, and can have various applications, such as high-strength ceramic materials and catalysts in chemical reactions. The present work aims to synthesize mixed tungsten and molybdenum carbides from commercial precursors, ammonium paratungstate (APT) and ammonium heptamolybdate (HMA). The syntheses were carried out in a fixed bed reactor, using a solid gas reaction under different flow

conditions, isotherms and mass proportions. Through characterizations by X-ray diffraction, scanning electron microscopy and X-ray fluorescence, it was possible to identify the carbide formation behavior and its morphologies.

Keywords: tungsten, molybdenum, mixed carbide, X-ray diffraction.

Introdução

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houveram mudanças significativas no meio ambiente, ocasionando o crescimento de séries de pesquisas relacionadas a aprimoração dos processos e tratamento de materiais gerando inovações tecnológicas que permitiram utilizar os recursos naturais de maneira mais sustentável (LUZ, Belfiore & Zilber, 2022).

O Brasil possui uma vasta reserva de minerais, que atendem uma ampla e variada demanda global. Esses minerais podem ser vendidos de maneira bruta, contudo, é de interesse que os mesmos sejam aplicados em ações que estimulem a combinação de valor e conhecimento (SILVA, 2023).

Uma das alternativas viáveis para utilização desses recursos minerais é a produção de materiais nanoestruturados, devido a melhoria das diversas propriedades que os materiais nanoestruturados podem ter em comparação aos materiais obtidos em processos convencionais. Os catalisadores são um exemplo desses materiais. A indústria de catalisadores tem investido significativamente em pesquisas para desenvolver carbetos e nitretos de metais refratários, com foco no controle do tamanho das partículas. Isso porque, os pós ultrafinos são extremamente valorizados por sua capacidade de criar catalisadores com alta reatividade superficial (GOMES, 2006).

Dentre os catalisadores podemos citar os carbetos, que são compostos químicos em que o carbono se combina com um elemento metálico ou semi-metálico. Esses compostos podem ser classificados em quatro categorias principais, com base na diferença de eletronegatividade entre os elementos envolvidos: carbetos salinos, de metais de transição, covalentes, intermediários ou intersticiais (SUAVE, 2015).

Os carbetos de metais de transição, como o carbeto de molibdênio e tungstênio, têm atraído atenção especial devido à sua relevância em diversos setores industriais, incluindo matrizes especiais, indústria aeroespacial e militar, metalúrgica e catalisadores. Esses carbetos são de grande importância tecnológica devido às suas propriedades físicas e mecânicas notáveis. Eles possuem características específicas, como um ponto de fusão elevado, alta dureza, baixo coeficiente de atrito, inércia química, resistência à oxidação e excelente condutividade elétrica (Gonzalez, Santos, Nobrega & Rocha, 2010).

A partir disso esse trabalho tem como objetivo sintetizar os precursores comerciais de molibdênio e tungstênio para formação de carbetos mistos.

Metodologia

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi dividida em etapas para o desenvolvimento deste trabalho, promovendo a compreensão logística de pesquisa. A partir disso, a parte prática está dividida nos seguintes tópicos: infraestrutura e equipamentos; precursores comerciais; caracterização dos precursores comerciais; parâmetros reacionais; sínteses de obtenção de carbetos, caracterização do material obtido.

2.1 Infraestrutura e equipamentos

Para realização desta pesquisa foi utilizado a infraestrutura e equipamentos da UFRN, além de parcerias com outros laboratórios nas análises de caracterização como o Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais (LCEM) do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMat) da UFRN e o Laboratório de Peneiras Moleculares (LABPEMOL) do Instituto de Química (IQ) da UFRN. O laboratório utilizado como base para a realização das sínteses foi o Laboratório de Materiais Nanoestruturados e Reatores Catalíticos (LAMNRC).

2.2 Precursores comerciais

Os precursores comerciais utilizados no experimento foram o Heptamolibdato de amônio o (HMA) apresentado na Figura 1 (a) e o Paratungstato de Amônio (APT) mostrado na Figura 1 (b), disponíveis no acervo de reagentes do Laboratório de Materiais e Nanoestruturados e Reatores Catalíticos (LAMNRC) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

2.3 Caracterizações

As análises de caracterização realizadas foram: microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios-X (DRX). Os materiais obtidos foram separados para análises de DRX sob as condições de passo $0,02^\circ$, range $3-80^\circ$ e tempo 0,1 s, onde era possível observar se a fase de interesse tinha sido formada ou se seria necessário a realização de outras reações.

2.4 Preparação dos Precursores

Para preparação do aparato, foi realizada a pesagem dos precursores comerciais, com massa de aproximadamente 2 g, em diferentes proporções de APT e HMA como mostrado na tabela 1, onde é possível visualizar a massa de molibdênio (Mo) e tungstênio (W) em cada amostra.

2.5 Síntese de Carbetos Mistos de Tungstênio de Molibdênio

A síntese é realizada com o cadinho sendo alocado dentro do reator do modelo Forno Resistivo Bipartido (EDG Túnel FT-HI 40), como mostrado na figura 3. O reator foi fechado e os parâmetros reacionais utilizados foram o de vazão total de aproximadamente 15 L/h, sendo a vazão de metano (CH_4) de aproximadamente 12,5 mL/min e vazão de

hidrogênio (H_2) de aproximadamente 237,5 mL/min, com taxa de aquecimento de 10 °C por minuto, temperatura de patamar de 660 °C e tempo de patamar de 120 min que eram configurados no painel do reator. A síntese é iniciada, a partir da liberação da passagem de um gás inerte, no caso foi usado o Argônio (Ar) por aproximadamente 10 minutos, após esse tempo o argônio era desligado, e liberada a passagem de CH_4 e H_2 , com vazões controladas por um software de fluxímetro alocado a uma placa arduino Mega or Mega 2560 como mostrado na figura 4. Atingindo a temperatura de patamar e o tempo previsto para o mesmo, o processo de resfriamento do reator era iniciado, chegando à uma temperatura de aproximadamente 150 °C, com isso os fluxos de CH_4 e H_2 eram desligados e novamente era liberado a passagem do argônio até o fim do resfriamento. Quando atingindo uma temperatura de aproximadamente 50 °C, a amostra do cadinho era retirada do reator e alocada em um eppendorf para realização de análises de caracterização.

Resultados e Discussões

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterizações dos Precursores Comerciais

As caracterizações dos precursores comerciais, APT e AHM, têm como principal objetivo esclarecer as características físicas e químicas do rejeito, a partir disso, utilizou-se as análises de DRX e MEV.

3.1.1 Difração de Raios-X dos Precursores Comerciais

Na figura 5 apresenta-se a análise de difração de raios-X do precursor APT, é possível observar uma concordância entre os picos obtidos e os picos observados na literatura a partir da carta (ICSD 015237), com estrutura monoclinica, grupo espacial P21/n e parâmetros de rede: a (Å) = 15,0800, b (Å) = 14,4500 e c (Å) = 11,0000. Contudo, é perceptível a presença de picos de baixa intensidade que não são apresentados na literatura, que podem ocorrer em virtude de fatores externos como contaminação, que podem impactar a análise, mas que não influenciam diretamente a utilização do precursor.

Na figura 6 é apresentado a análise de difração de raios-X do precursor HMA, observa-se uma boa concordância entre os picos obtidos e os picos observados na literatura a partir da carta (ICSD 004153), com estrutura monoclinica, grupo espacial P21/c e com parâmetros de rede: a (Å) = 8,3934, b (Å) = 36,1703 e c (Å) = 10,4715. Assim como no APT, também é perceptível a presença de pequenos picos que não são apresentados na literatura e que podem acontecer devido a fatores externos que podem impactar a análise, mas que não influenciam diretamente a utilização do precursor.

3.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura dos Precursores Comerciais

A Figura 7 apresenta imagens de MEV para o precursor comercial HMA com ampliações de zoom de 100x como mostrado na figura 7 (a), o precursor mostrou-se em formas de esferas e cubos irregulares que estão em concordância com a literatura (Weinold, Jentoft, & Ressler, 2003). Na ampliação de zoom 3000x como mostrado na figura 7 (b) é possível identificar em alguma regiões, além do molibdênio a presença de outras partículas que podem ser explicadas a partir do processamento industrial do reagente, o que se mostrou dentro do esperado devido a sua composição química original (SOUSA,2014).

A Figura 8 apresenta imagens de MEV para o precursor comercial APT com diferentes ampliações de zoom de 100x como mostrado na figura 8 (a), foi identificado a presença de partículas em formato de cubos irregulares, na ampliação de zoom 3000x como mostrado na Figura 8 (b).

3.2 Estrutura física dos precursores

Os precursores comerciais utilizados na síntese apresentam coloração branca como mostrado na figura 9 (a), após a síntese realizada no reator é perceptível a mudança de coloração, apresentando uma coloração escura como mostrado na figura 9 (b), confirmando assim, que houve mudanças químicas, e formação de novos produtos.

3.3 Difração de Raios-X do produto

As análises de DRX foram realizadas com os produtos formados na síntese dos carbeto de tungstênio, molibdênio e misto. Os difratogramas foram tratados em software adequado para tal, onde é possível ver os picos de intensidade normalizada da difração de raios-X do material formado.

A Figura 10 apresenta um padrão de difração para a amostra G4 que é composta por uma proporção de 100% de tungstênio. Na amostra G4, observou-se formação de 54% de dióxido de tungstênio (WO₂) e 46% de tungstênio, o padrão observado está em concordância com o descrito na literatura, apresentando picos característicos de WO₂ a partir da carta (ICSD 080829), com estrutura monoclinica, grupo espacial P21/c e com parâmetros de rede de: a (Å) = 5,5769, b (Å) = 4,8986 e c (Å) = 5,6644, e apresentou picos característicos de W puro a partir da carta (JCPDS 00-004-0806), com estrutura cúbica, grupo espacial Im-3m e com parâmetros de rede: a (Å) = 3,1648, b (Å) = 3,1648 e c (Å) = 3,1648.

O padrão de difração apresentado na figura 11 é referente a amostra G5, que contém composição de 90% de molibdênio e 10% de tungstênio. A amostra apresentou formação de 73% de dióxido de molibdênio (MoO₂) e 27% de molibdênio, esse padrão de formação está em concordância com a literatura, apresentando picos característicos de MoO₂ a partir da carta (ICSD 062206), com estrutura monoclinica, grupo espacial P21/c e com parâmetros de rede: a (Å) = 5,6090, b (Å) = 4,8600 e c (Å) = 5,6280, e apresenta picos característicos de Mo puro a partir da carta (ICSD 076147), com estrutura cúbica, grupo espacial Im-3m e com parâmetros de rede: a (Å) = 3,1472, b (Å) = 3,1472 e c (Å) = 3,1472.

Na amostra G6, que apresenta uma composição de 70% de molibdênio e 30% de tungstênio. A fase formada obteve 61% de carbeto de molibdênio (Mo₂C), 25% de

molibdênio e 14% de MoO₂, como mostrado na figura 12. Esse material obtido está em concordância com cartas descritas literatura, onde apresentam-se picos característicos de Mo₂C a partir da carta (ICSD 001326), com estrutura ortorrômbica, grupo espacial Pbcn e com parâmetros de rede: a (Å) = 4,7320, b (Å) = 6,0370 e c (Å) = 5,2040, comprovando a formação de carbetos de molibdênio com os parâmetros reacionais utilizados, como também obtido pela metodologia observada na literatura (ARAÚJO, 2016). Além disso, é possível identificar picos característicos de Mo a partir da carta (ICSD 076415), com estrutura cúbica, grupo espacial Im-3m e com parâmetros de rede: a (Å) = 3,1474, b (Å) = 3,1474 e c (Å) = 3,1474. Por fim, notou-se picos característicos de WO₂ a partir da carta (ICSD 080829), com estrutura monoclinica, grupo espacial P21/c e com parâmetros de rede: a (Å) = 5,5769, b (Å) = 4,8986 e c (Å) = 5,6644.

Por fim, na amostra G7 que apresenta uma composição de 30% de molibdênio e 70% de tungstênio, notou-se a formação de 60% de WO₂, 35% de Mo₂C e 5% de W, como mostrado na figura 13. Há concordância com as cartas descritas na literatura, onde apresentam-se picos característicos de WO₂ a partir da carta (JCPDS 96-154-8687), com estrutura monoclinica, com grupo espacial P 1 21/c 1 e com parâmetros de rede: a (Å) = 5,5633, b (Å) = 4,8990 e c (Å) = 5,6640. Além disso, é possível identificar picos característicos de Mo₂C a partir da carta (ICSD 001326), com estrutura ortorrômbica, com grupo espacial Pbcn e com parâmetros de rede: a (Å) = 4,7320, b (Å) = 6,0370 e c (Å) = 5,2040, o que comprova a formação de carbetos mistos de molibdênio a partir dos parâmetros reacionais utilizados (ARAÚJO, 2016). Vale ressaltar que há picos característicos de W a partir da carta (ICSD 043421), com estrutura cúbica, com grupo espacial Im-3m e com parâmetros de rede: a (Å) = 3,1648, b (Å) = 3,1648 e c (Å) = 3,1648.

As outras amostras apresentadas na tabela 1 foram sintetizadas e analisadas no trabalho do ano anterior. A pesquisa terá continuação e outras análises deverão ser feitas como por exemplo MEV e FT-IR para complementar e validar a formação das fases esperadas.

Além disso, foi perceptível que a amostra G7 que apresenta 30% de molibdênio e 70% de tungstênio apresentam formação de carbetos de Mo e uma boa porcentagem formação de WO₂, o que caracteriza uma aproximação na formação do carbetos mistos, visto que a formação de WO₂ é referente a baixa temperatura reacional, e observando na literatura, o carbetos de W é formado entre 650 °C e 800 °C (MEDEIROS, 2002). Notou-se também, a partir da tabela 1 anexa, que há uma perda significativa de material, que pode atrapalhar na análise de caracterização dos carbetos, tendo em vista que uma boa parte da massa utilizada fica retida no cadinho ou se perde no reator.

Conclusão

4. CONCLUSÃO

A pesquisa realizada para a obtenção de carbetos mistos de tungstênio e molibdênio é importante, pois é uma vertente extremamente inovadora que pode favorecer a utilização de catalisadores impactando positivamente em processos industriais. Durante a realização dos experimentos foram apresentados alguns erros experimentais que dificultaram um melhor tratamento dos dados, dificultando assim a obtenção de melhores resultados. Com

os resultados obtidos, novas estratégias serão montadas para dar continuidade a pesquisa. A partir disso, será planejado um novo plano de trabalho para obtenção de lactitol a partir dos carbetos obtidos, visando observar seu comportamento e seu favorecimento da sua aplicação nesse setor industrial.

Referências

5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. P. B. de et al. Estudo da obtenção de Mo₂C por reação gás-sólido em reator de leito fixo e rotativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal. Anais [...]. Natal, RN, Brasil, 2016.

GOMES, Kalyanne Keyly Pereira. Síntese e caracterização do carbeto de molibdênio nanoestruturado para fins catalíticos na reação de oxidação parcial do metano. 2006.

Gonzalez, M., Santos, L., Nóbrega, J., & Rocha, F. (2010). Construção de espectrômetro de emissão atômica com atomização eletrotérmica em filamento de tungstênio (wcaes). Química Nova, 33(10), 2266-2271.

LUZ, F., Belfiore, P., & Zilber, S. (2022). Big data analytics como ferramenta de suporte à tomada de decisão ao longo da cadeia de suprimentos..

MEDEIROS, Francisca de Fátima Pegado de. Síntese de carbetos de tungstênio e nióbio.... 2022. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

SOUSA, A. C. S. DE. Produção de molibdênio metálico a partir da molibdenita de carnaíba (Bahia). 2014

Suave, J., LEME, L., & Moreira, R. (2015). catalisadores de óxido de ferro dopados com metais de transição aplicados na ozonização catalítica do corante safira procion..

Weinold, J., Jentoft, R. E., & Ressler, T. (2003). Structural investigation of the thermal decomposition of ammonium heptamolybdate by in situ XAFS and XRD. European Journal of Inorganic Chemistry, 1058 - 1071.

Anexos

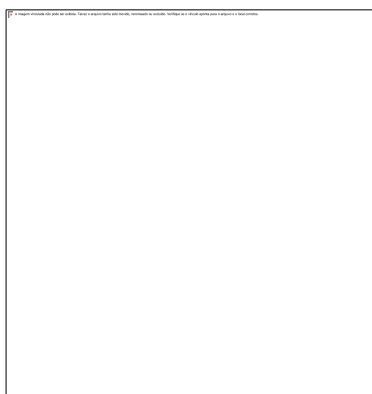


Figura 1 (a) - Precursor comercial HMA utilizado nos experimentos

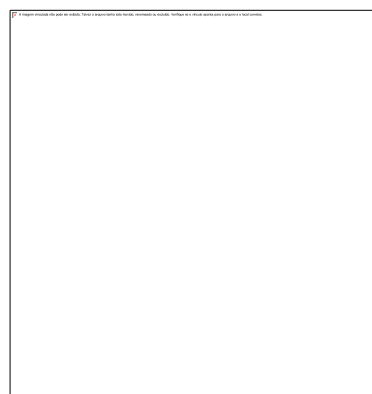


Figura 1 (b) - Precursor comercial APT utilizado nos experimentos



Tabela 1 - Proporção e massa de APT e HMA utilizados nas amostras

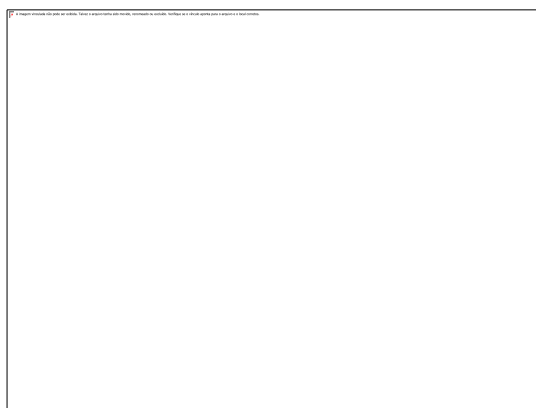


Figura 2 - Cadinho utilizado nos experimentos

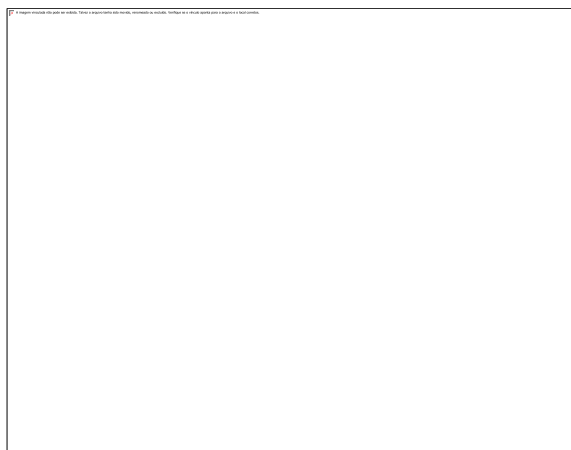


Figura 3 - Forno Túnel EDG (FT - HI 40)

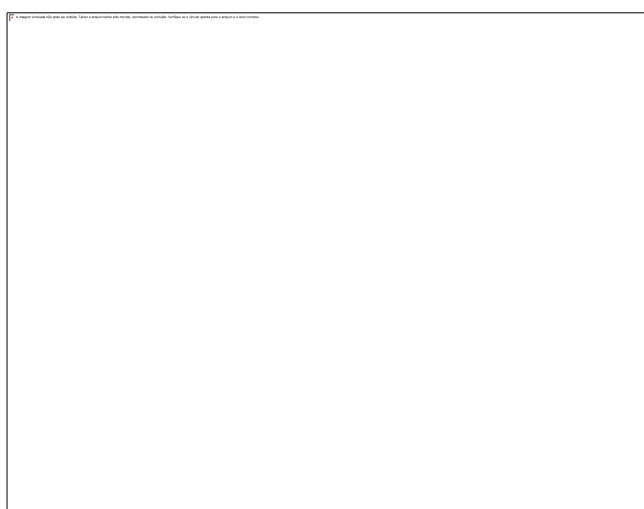


Figura 4 - Software do fluxímetro alocado a um arduino Mega or Mega 2560



Figura 5 - Difratoograma de raios-X do precursor de tungstênio (APT) utilizado nos experimentos



Figura 6 - Difratoograma de raios-X do precursor de molibdênio (HMA) utilizado nos experimentos



Figura 7 (a) - Microscopia eletrônica de varredura da amostra de AHM com zoom de 100x



Figura 7 (b) - Microscopia eletrônica de varredura da amostra de AHM com zoom de 3000x



Figura 8 (a) - Microscopia eletrônica de varredura da amostra de APT com zoom de 100x



Figura 8 (b) - Microscopia eletrônica de varredura da amostra de APT com zoom de 3000x



Figura 9 (a) - Coloração inicial dos precursores comerciais antes da reação



Figura 9 (b) - Coloração dos precursores comerciais após a reação



Figura 10 - Difratoograma de raios-X da amostra G4 obtida na obtenção de carvão de W



Figura 11 - Difratoograma de raios-X da amostra G5 obtida na obtenção de carbeto de MO e W



Figura 12 - Difratoograma de raios-X da amostra G6 obtida na obtenção de carbeto de MO e W



Figura 13 - Difratoograma de raios-X da amostra G7 obtida na obtenção de carbeto de MO e W

CÓDIGO: ET0714

AUTOR: KAYKY AUGUSTO DA SILVA

COAUTOR: ILA GABRIELE DINIZ DIAS DE AZEVEDO

ORIENTADOR: ANDRE LUIS LOPES MORIYAMA

TÍTULO: ESTUDO DA DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DE MATÉRIA ORGANICA PRESENTE EM ESGOTO DOMÉSTICO UTILIZANDO TiO_2 , Nb_2O_5 E WO_3

Resumo

A crescente escassez de água e o aumento do volume de efluentes demandam alternativas sustentáveis para o tratamento de águas residuais. A fotocatalise heterogênea, um Processo Oxidativo Avançado (POA), se destaca por sua eficiência na degradação de contaminantes, principalmente com a utilização de luz solar. Esse trabalho explora a degradação da matéria orgânica em esgoto doméstico sintético utilizando os fotocatalisadores TiO_2 , Nb_2O_5 e WO_3 .

Palavras-chave: Fotocatálise; Processo oxidativos avançados; tratamento de efluentes

TITLE: Photocatalytic Degradation of Organic Matter in Domestic Wastewater Using TiO_2 , Nb_2O_5 ; and WO_3 .

Abstract

The increasing scarcity of water resources and the growing volume of wastewater demand sustainable alternatives for treatment processes. Heterogeneous photocatalysis, a well-established Advanced Oxidation Process (AOP), stands out due to its efficiency in degrading organic contaminants, especially when using solar irradiation as an energy source. This study investigates the degradation of organic matter in synthetic domestic wastewater employing TiO_2 , Nb_2O_5 , and WO_3 as photocatalysts.

Keywords: Photocatalysis; Advanced Oxidation Processes; Wastewater treatment;

Introdução

A escassez de recursos hídricos tem se consolidado como uma preocupação crescente entre os governos, impactando diretamente a sobrevivência humana e o desenvolvimento econômico [1]. A rápida industrialização, o aumento populacional e as secas prolongadas intensificam a escassez de água doce e aumentam significativamente a produção de efluentes, sobrecarregando as infraestruturas de tratamento existentes e tornando ainda mais urgente a adoção de sistemas de gestão hídrica sustentáveis e integrados [3-4]. A situação se agrava quando efluentes contaminam aquíferos subterrâneos ou corpos d'água doce, representando uma grave ameaça à qualidade da água disponível [3]. Dessa forma, os serviços de saneamento de esgoto desempenham um papel crucial na conservação da água e na promoção da saúde pública [2].

Estima-se que 2,01 bilhões de toneladas de efluentes sejam produzidos anualmente, sendo que 33% desse volume permanece sem tratamento. Além dessa carência, muitas tecnologias convencionais, como filtração, sedimentação e floculação, acabam por gerar resíduos poluentes que impactam também o meio ambiente e ocupam áreas em aterros sanitários [3]. Em resposta a isso, cresce a busca por processos alternativos para o tratamento de esgotos domésticos, destacando-se os processos oxidativos avançados (POAs). Esses processos utilizam radicais altamente reativos, sendo o radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$) o principal agente de degradação de contaminantes. Embora os POAs sejam vantajosos por promoverem a destruição dos poluentes e não apenas sua transferência para outra fase, sua viabilidade é frequentemente questionada devido à alta demanda energética [5-6].

Dentre os POA's, a fotocatalise heterogênea se destaca por ser um processo baseado em reações redox (redução oxidação) que são induzidas pela radiação sobre semicondutores, como TiO_2 , CdS , XnO , WO_3 e Fe_2O_3 [8]. Nos últimos anos, a fotocatalise com dióxido de titânio (TiO_2) tem sido amplamente utilizada na degradação de poluentes, evidenciando sua eficiência no tratamento de efluentes industriais e domésticos, chorume, descontaminação do solo e emissões gasosas [8-9]. No entanto, o uso da fotocatalise heterogênea solar no tratamento de esgoto sanitário ainda necessita de mais estudos sobre sua viabilidade para tornar-se uma alternativa competitiva em escala industrial frente aos métodos convencionais.

O aproveitamento da luz solar para a fotocatalise heterogênea no Brasil é favorecido pela alta incidência solar, especialmente no Nordeste. Além disso, o estudo da degradação fotocatalítica da matéria orgânica deve se expandir para incluir outros óxidos, como Nb_2O_5 e WO_3 , amplamente disponíveis no país, sendo essencial para o avanço e otimização dessa tecnologia.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo a remoção de matéria orgânica oriunda de em esgoto doméstico em um fotorreator solar, utilizando TiO_2 , Nb_2O_5 e WO_3 , como fotocatalizadores. Para isso, serão determinadas as condições ideais de

operação e processo, como concentração do fotocatalisador, e investigada a cinética de fotodegradação da matéria orgânica em cada situação.

Metodologia

Foram utilizados como catalisadores o dióxido de titânio (Sigma-Aldrich), o trióxido de tungstênio (Ludwig Biotec) e o pentóxido de nióbio (Sigma-Aldrich), todos adquiridos comercialmente. Os semicondutores foram avaliados em quatro concentrações: 0,25; 0,50; 0,75 e 1,0 g·L⁻¹

A caracterização morfológica dos semicondutores foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise estrutural, por sua vez, foi conduzida por difração de raios X (DRX), sendo o tamanho médio de cristalito estimado a partir da equação de Scherrer, com base nos difratogramas obtidos:

$$D = K\lambda / \beta \cos\theta$$

Onde a largura do pico, $\beta(2\theta)$, em um valor particular de 2θ (sendo θ o ângulo de difração e λ o comprimento de onda dos raios X) é inversamente proporcional ao tamanho do cristalito D ; a constante K é uma função da forma do cristalito, mas geralmente é considerada em torno de 1,0 para partículas esféricas. O alargamento das linhas de raios X fornece valores médios do tamanho dos cristalitos que, na maioria dos casos, concordam bastante com aqueles obtidos por microscopia eletrônica de transmissão; a grande vantagem da técnica é que os problemas de obtenção de resultados representativos são menos rigorosos.

O sistema operacional é composto por um reator do tipo batelada, com superfície interna aletada e equipado com agitação magnética, conforme ilustrado na figura 1. O fotoreator foi instalado em uma posição estrategicamente selecionada para evitar sombreamento por edificações adjacentes, garantindo assim a incidência direta da luz solar como fonte de radiação.

Figura 1: Esquema do sistema operacional: reator batelada com aletas e agitação magnética.

Para o estudo experimental, utilizou-se como modelo uma solução sintética de esgoto doméstico, preparada de acordo com o método descrito pela OECD Guidelines for the Testing of Chemicals[11] com concentração aproximada de 106 mg/L de carbono orgânico.

Inicialmente, foi adicionado um determinado volume de solução sintética ao reator, com o pH previamente ajustado para 3,0. Os experimentos foram realizados com duração de quatro horas, iniciando-se às 13h e finalizando às 16h. Todos os ensaios ocorreram em dias de céu claro.

Como parâmetro de avaliação, foi utilizada a Demanda Química de Oxigênio (DQO), A curva de calibração para a determinação da DQO foi elaborada de acordo com o procedimento estabelecido pelos Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [10]. Para tal, soluções padrão de biftalato de potássio (KHP), um padrão primário amplamente reconhecido por sua alta pureza e estequiometria definida de oxidação, foram submetidas ao protocolo de digestão. O método envolveu a adição da mistura oxidante sulfocrômica (ácido sulfúrico e dicromato de potássio) em meio fortemente acidificado, na presença de uma solução catalítica contendo sulfato de prata, para garantir a oxidação completa de compostos orgânicos recalcitrantes e lineares. A digestão foi conduzida em bloco termostatzado a 150 °C por um período de 2 horas. Após o resfriamento, a absorvância do complexo verde de Cr^{3+} formado foi medida espectrofotometricamente a 600 nm, permitindo a construção de uma relação linear entre a concentração conhecida de DQO e a resposta instrumental, fundamental para a quantificação precisa de matéria orgânica em amostras aquosas desconhecidas.

Os pontos amostrais da batelada foram coletados a intervalos de 40 minutos, totalizando seis amostras por experimento, incluindo a amostra inicial antes do início da fotocatalise. Ao final de cada coleta, as amostras foram filtradas a vácuo e preparadas para análise de DQO, seguindo a mesma metodologia utilizada na construção da curva.

Resultados e Discussões

A curva de calibração para os ensaios de DQO (Figura 2) foi obtida a partir da relação entre a absorvância em 600 nm e a concentração de DQO, resultando em um coeficiente de correlação de 0,993, o que demonstra a boa linearidade do ajuste.

Inicialmente, foi realizada a caracterização morfológica de cada fotocatalisador por microscopia eletrônica de varredura (MEV), com o objetivo de correlacionar os resultados de degradação com suas respectivas características morfológicas. As micrografias obtidas estão apresentadas na Figura 3.

A partir das imagens de MEV, observa-se que os óxidos analisados apresentam morfologia composta por partículas de formato irregular, atribuída a sua natureza fina. Conforme mostrado na Figura 3-b, o Nb_2O_5 exibe a formação de aglomerados menores em comparação aos demais óxidos, indicando uma estrutura mais porosa e potencialmente maior área superficial, o que pode favorecer processos de adsorção. Além disso, o WO_3 (figura 3-c) apresenta aglomerados com morfologia mais regular, tendendo ao formato cúbico.

Para confirmar a identidade e a pureza das fases cristalinas, os catalisadores comerciais foram caracterizados por difração de raios X (DRX). Os difratogramas obtidos corroboram a formação das fases óxidas esperadas, conforme atestado pela indexação dos picos de difração com seus respectivos arquivos de referência do Banco de Dados Internacional de Difração (ICSD). O dióxido de titânio (TiO_2) exibiu um padrão característico da fase anatase (ICSD 009852), cristalizando no sistema tetragonal e grupo espacial $\text{I4}_1/\text{amd}$ (nº 141). O pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) foi identificado em sua fase

monoclínica (ICSD 000029), pertencente ao grupo espacial P2/m (nº 10). Por fim, o trióxido de tungstênio (WO_3) também se apresentou na estrutura monoclínica (ICSD 014332), indexado ao grupo espacial P21/n (nº 14).

Com base na equação de Scherrer, foram estimados os tamanhos médios de cristalito dos fotocatalisadores, obtendo-se valores de 76,06 nm para o TiO_2 , 78,69 nm para o WO_3 e 97,90 nm para o Nb_2O_5 . De acordo com a literatura [12], menores tamanhos de cristalito estão associados a uma maior área superficial específica, o que favorece a exposição de sítios ativos e, consequentemente, intensifica o contato com as moléculas do poluente, promovendo sua degradação.

Para um monitoramento mais eficaz dos parâmetros operacionais, a análise da energia solar incidente revela-se de extrema importância, uma vez que a cinética da reação fotocatalítica depende diretamente da radiação solar no local. Nesse contexto, a incidência solar foi medida ao longo do tempo utilizando-se um medidor portátil de energia solar, modelo MES-100 da Instrutherm, e o perfil obtido encontra-se apresentado na Figura 7.

Com base no perfil, pode-se notar a grande variação de incidência solar em relação ao longo do tempo, o que limita uma boa análise da cinética de degradação, visto que a ordem da reação depende intrinsecamente da luz que chega à superfície do catalisador.

Conclusão

Os semicondutores foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios X (DRX), sendo o diâmetro médio de cristalito estimado pela equação de Scherrer. Além disso, foi realizada a montagem do sistema operacional para os testes de degradação, bem como o estudo da incidência solar local, etapa fundamental para avaliar a eficiência do processo fotocatalítico. Entretanto, a execução dos ensaios de degradação não foi viabilizada neste plano de trabalho, uma vez que as etapas de caracterização dos materiais e de construção do reator demandaram tempo considerável, coincidindo, ao final, com o período chuvoso da região. Apesar disso, o sistema encontra-se plenamente estruturado e pronto para a realização dos testes de degradação no próximo plano de trabalho.

Referências

[1] He, J., Gao, Y., Li, J., Zhang, Y., Wang, Y., Zhu, M., Zhang, J., Cao, M., Wei, X., & Qu, M. (2025). Assemble a removable dual-function solar photothermal evaporator with wetting gradient: Efficient desalination and wastewater treatment. *Desalination*, 599, 118423. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.118423>

- [2] Ferreira, M. M., Fiore, F. A., Saron, A., & Silva, G. H. R. da. (2021). Systematic review of the last 20 years of research on decentralized domestic wastewater treatment in Brazil: state of the art and potentials. *Water Science and Technology*, 84(12), 3469–3488. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.487>
- [3] Iqbal, M. A., Akram, S., Khalid, S., Lal, B., Ul Hassan, S., Ashraf, R., Kezembayeva, G., Mushtaq, M., Chinibayeva, N., & Hosseini Bandegharai, A. (2024). Advanced photocatalysis as a viable and sustainable wastewater treatment process: A comprehensive review. *Environmental Research*, 253, 118947. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118947>
- [4] Lema, M.W. Wastewater crisis in East African cities: challenges and emerging opportunities. *Discov Environ* 3, 18 (2025). <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00206-w>
- [5] Araújo, B. A., Souza, J. E. S. de, Sarmiento, K. K. F. ., Rebouças, L. D., Medeiros, K. M. de, & Lima, C. A. P. de . (2021). Advanced oxidative processes applied in effluents treatment of membranes production: a review. *Research, Society and Development*, 10(4), e27210414253. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14253>
- [6] Hübner, U., Spahr, S., Lutz, H., Rüting, S., Gernjak, W., & Wenki, J. (2024). Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment. *Heliyon*, 10(e30402). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30402>
- [7] Mousa, S. A., Abdallah, H., & Khairy, S. A. (2025). The use of green synthesized TiO₂/MnO₂ nanoparticles in solar power membranes for pulp and paper industry wastewater treatment. *Scientific Reports*, 15, 2102. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-85075-8>
- [8] Medeiros, V. R. R. de. (2020). Estudo da fotodegradação da matéria orgânica presente em esgoto doméstico utilizando TiO₂, Nb₂O₅ e WO₃ (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte
- [9] Spáčilová, M., Krejčíková, S., Maleterova, Y., Kastanek, F., & Solcova, O. (2022). Scale-up of photoreactor with TiO₂ thin layer for wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 86(8), 1981–1990. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.313>
- [10] A. D. Eaton; L. S. Clesceri; E. W. Rice; A. E. Greenberg in *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22nd ed.; American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), Eds.; APHA: Washington, D.C., 2012; 4-50 – 4-56.
- [11] OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Organisation for Economic Co-operation and Development, Ed.; OECD Publishing: Paris, 1999; Section 303A.
- [12] AZEVEDO, Ila Gabriele Diniz Dias de. Degradação fotocatalítica de rodamina b utilizando ferritas de cobre e níquel sintetizadas pelo método de complexação combinado edta-citrato. Orientador: André Luís Lopes Moriyama. 2023. 79f. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

Anexos



Figura 1: Esquema do sistema operacional: reator batelada com aletas e agitação magnética.



Figura 2: Curva de calibração para determinação de DQO



Figura 3: Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos catalisadores (a) TiO_2 , (b) Nb_2O_5 e (c) WO_3 , obtidas com ampliação de 5000 vezes.



Figura 4: difratograma de raios x do óxido de titânio



Figura 5: difratograma de raios X do óxido de nióbio



Figura 6: difratograma de raios x do óxido de tungstênio



Figura 7: Perfil de incidência solar em relação ao tempo

CÓDIGO: ET0721

AUTOR: AMANDA GABRIELA VIANA FABRICIO

ORIENTADOR: DOMINGOS FABIANO DE SANTANA SOUZA

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO MICROREATOR TUBULAR PARA A PRODUÇÃO DE GAMA-VALEROLACTONA

Resumo

A busca por alternativas sustentáveis aos combustíveis fósseis tem impulsionado pesquisas voltadas à produção de biocombustíveis a partir de biomassa lignocelulósica. Nesse contexto, a gama-valerolactona (GVL) se destaca por ser um composto estável, de baixa toxicidade e versátil. Contudo, sua produção enfrenta desafios relacionados à viabilidade econômica, uma vez que rotas tradicionais utilizam catalisadores nobres de alto custo. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a produção de GVL empregando catalisador $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ em um reator tubular. O experimento consistiu na preparação de uma solução de ácido levulínico (10% m/m) em etanol, bombeada para um reator aquecido a 140 e 180 °C e preenchido com aproximadamente 5 g do catalisador, onde o sistema foi operado sob pressão controlada (330–375 psi). As amostras coletadas foram analisadas por HPLC, o que possibilitou a determinação das concentrações de GVL e as taxas de conversão correspondentes. Os resultados indicaram que a conversão variou entre 35% e 44%, com tendência de redução à medida que a vazão aumentava. Dessa forma, concluiu-se que o uso de reatores preenchidos com catalisadores mais baratos representa uma estratégia viável para a obtenção de GVL.

Palavras-chave: Engenharia Química, Reator; Gama-Valerolactona, Hidrólise.

TITLE: EVALUATION OF THE TUBULAR MICROREACTOR FOR GAMMA-VALEROLACTONE PRODUCTION

Abstract

The search for sustainable alternatives to fossil fuels has driven research focused on the production of biofuels from lignocellulosic biomass. In this context, gamma-

valerolactone (GVL) stands out as a stable, low-toxicity, and versatile compound. However, its production faces challenges regarding economic feasibility, since traditional routes employ costly noble catalysts. Thus, this study aimed to evaluate the production of GVL using a Ni/Al₂O₃ catalyst in a tubular reactor. The experiment consisted of preparing a 10 wt% levulinic acid solution in ethanol, which was pumped into a reactor heated to 140 and 180 °C and filled with approximately 5 g of catalyst, where the system was operated under controlled pressure (330–375 psi). The collected samples were analyzed by HPLC, enabling the determination of GVL concentrations and the corresponding conversion rates. The results indicated that the conversion ranged from 35% to 44%, with a decreasing trend as flow rate increased. Therefore, it was concluded that the use of reactors filled with cheaper catalysts represents a viable strategy for obtaining GVL.

Keywords: Chemical Engineering, Reactor; Gamma-Valerolactone, Hydrolysis.

Introdução

As recentes mudanças climáticas, agravadas pelo aquecimento global resultante da emissão de gases de efeito estufa, têm gerado crescente preocupação e impulsionado a busca por soluções alinhadas ao desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto, os biocombustíveis se apresentam como uma alternativa aos combustíveis fósseis, reconhecidos como grandes responsáveis pelo agravamento do efeito estufa, pois são produzidos a partir de fontes renováveis, como a biomassa vegetal e resíduos orgânicos.

Entre essas fontes, a biomassa lignocelulósica destaca-se como uma das mais relevantes, uma vez que é barata e abundante, pois pode ser proveniente de resíduos industriais e agrícolas, como bagaço de cana-de-açúcar, sabugo de milho, entre outras. As tecnologias de transformação da biomassa lignocelulósica em etanol de segunda geração ou biogás já estão bem consolidadas ou em caminho para consolidação, porém existe um interesse tecnológico de obter outros combustíveis de transporte a partir desta matéria-prima, como a gama-valerolactona (GVL).

A gama-valerolactona é caracterizada como um éster cíclico contendo cinco carbonos e é obtida a partir da hidrólise ácida de celulose ou hemicelulose por rotas catalíticas. De forma geral, trata-se de um líquido límpido e incolor, quimicamente estável, que possui baixa toxicidade e bastante versatilidade, podendo ser utilizado como combustível ou aditivo.

Apesar de seu potencial, um dos principais desafios no processo de obtenção desse produto se dá pela viabilidade econômica, já que é um processo que geralmente envolve a utilização de catalisadores relativamente caros, como rutênio, paládio, platina e irídio. Assim, como alternativa, tem sido estudado a aplicação de catalisadores mais acessíveis, feitos a base de níquel, cobre, ferro, entre outros, que embora não sejam tão eficientes, se destacam em aspectos econômicos e sustentáveis.

Dessa forma, esse projeto propôs a obtenção de GVL utilizando catalisadores de metais não-nobres juntamente com um sistema de escala laboratorial que envolve um reator tubular, o que possibilitou a operação contínua em um espaço delimitado, uma maior segurança, considerando que há um melhor controle das variáveis do processo, e eficiência na obtenção do produto desejado.

Metodologia

Visando a obtenção de GVL foram utilizados os reagentes descritos na tabela abaixo (Tabela 01), além do catalisador Ni/Al₂O₃, que foi cedido pelo ISI-ER (Oliveira et al., 2023) e apresentou 18% de fase ativa (m/m), tamanho médio de 200 µm, porosidade de 42,5% e superfície específica de 7,0.

Tabela 01. Reagentes utilizados e suas respectivas densidades

Reagentes	Densidade (g/mL)
Álcool Etílico 99,8%	0,789
Ácido Levulínico	1,134

Fonte: Autoria própria, 2025

Em relação aos equipamentos, foram utilizados manômetros, válvulas, microtubos, entre outros componentes para montar o sistema do reator, conforme ilustrado no esquema da Figura 02A e apresentado na Figura 02B.

Figura 02. Sistema utilizado para obtenção do GVL. A) Esquema ilustrativo do aparato experimental utilizado no procedimento. B) Fotografias dos equipamentos correspondentes ao esquema.

Fonte: Autoria própria, 2025

3.2 Procedimento experimental

Inicialmente, o leito do reator foi totalmente preenchido com cerca de 5 g do catalisador Ni/Al₂O₃, então ele foi acoplado ao sistema e posicionado dentro do forno. Em seguida, foi preparada uma solução de, aproximadamente, 200mL formada por ácido levulínico e álcool etílico, de forma que a concentração de ácido fosse de 10% (m/m).

Essa solução foi bombeada para o reator utilizando 4 vazões diferentes, que se encontravam entre 0,127 e 0,602 mL/min, enquanto a temperatura do forno foi inicialmente mantida em torno de 140°C e, posteriormente, elevada para 180°C.

Após passar pelo leito catalítico, a solução passou pelo condensador e pela válvula de linha, como ilustrado pela figura 02A. Na saída do sistema, foram coletadas amostras de 2 mL com microtubos eppendorf.

Essas amostras foram diluídas em 20 vezes e filtradas com membrana, então foram analisadas por Cromatografia Líquida de Alta-Eficiência(HPLC), o que permitiu calcular os valores de conversão utilizando a Eq. 01.

$$\text{Conversão(\%)} = (1 - X_i X_0) \cdot 100 \quad (1)$$

Durante o procedimento experimental, foi necessário manipular a pressão do sistema, mantendo-a numa faixa de 330 à 375 psi. Esse controle foi necessário para evitar a evaporação excessiva do etanol devido à alta temperatura do forno, garantindo, assim, condições adequadas para a reação entre o etanol e o ácido levulínico.

Resultados e Discussões

Os resultados obtidos por meio da análise em HPLC das soluções submetidas a 180°C, observados na Tabela 02, variaram entre aproximadamente 35% e 44%, ou seja, estão em uma faixa moderada.

Tabela 02. Eficiência de conversão das soluções submetidas a 180°C

Vazão(mL/min)	Concentração	Conversão(%)
0,127	0,645	42,587
0,390	0,636	43,593
0,497	0,669	39,659
0,602	0,708	34,951

Fonte: Autoria própria, 2025

Além disso, nota-se uma tendência de redução da eficiência de conversão com o aumento da vazão, comportamento que pode ser explicado pela diminuição do tempo de residência da solução reagente no leito catalítico. Esse efeito é evidenciado no Gráfico 01, que apresenta a conversão em função da vazão.

Gráfico 01. Conversão em função da vazão das soluções submetidas a 180°C

Fonte: Autoria própria, 2025

Ademais, também foi possível observar os efeitos da temperatura na conversão da GVL. Nota-se que o aumento da temperatura leva ao aumento da taxa de conversão, uma vez que a constante da reação e, conseqüentemente, sua velocidade reacional, aumentam em decorrência da temperatura, conforme observado na Tabela 03 e Gráfico 02.

Tabela 03. Eficiência de conversão de soluções submetidas a 140 e 180°C de mesma vazão

Temperatura(°C)	Vazão(mL/min)	Concentração	Conversão(%)
140	0,127	0,707	35,051
180	0,127	0,644	42,587

Fonte: Autoria própria, 2025

Gráfico 02. Conversão em função da temperatura das soluções submetidas a 140 e 180°C

Fonte: Autoria própria, 2025

Conclusão

O presente trabalho permitiu avaliar a aplicação de um reator tubular preenchido com catalisador Ni/Al₂O₃ para a produção de gama-valerolactona a partir de ácido levulínico.

Os resultados obtidos por meio da análise em HPLC demonstraram que a variação da vazão e da temperatura influenciaram diretamente a conversão do ácido levulínico em GVL, sendo observado que maiores vazões resultaram em menores taxas de conversão e que maiores temperaturas levaram a melhores conversões.

Embora os valores de conversão tenham se mantido em uma faixa moderada (entre aproximadamente 35% e 44%), este estudo confirma a viabilidade do uso deste reator aliado a catalisadores de menor custo, especificamente, o Ni/Al₂O₃.

Por fim, ressalta-se que trabalhos futuros podem explorar a influência de outros parâmetros, como outras temperaturas, composição da alimentação e tempo de residência, de forma a otimizar a eficiência de conversão da GVL.

Além disso, futuramente poderá ser analisada a utilização de microrreatores para obtenção desse produto, uma vez que são uma tecnologia ainda pouco explorada e podem aumentar ainda mais a viabilidade econômica do projeto.

Referências

ALBUQUERQUE, Flávia Pereira. Hidrogenação de Ácido Levulínico a Gama-Valerolactona Empregando Fosfetos de Metais de Transição Suportados em Sílica. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/7913>. Acesso em: 14 ago. 2025.

BONISSATTO, R. C., Silva, D. J., Almeida, J. M., Rodrigues, F. A., Resende, S. T., Mendonça Neto, A. B. Processo de Produção de Etanol a Partir da Hidrólise Ácida de Biomassas Lignocelulósicas, XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Blucher Chemical Engineering Proceedings, Volume 1, 2015, Pages 2370-2377, ISSN 2359-1757, <http://dx.doi.org/10.1016/chemeng-cobeq2014-1676-18107-149996>. Disponível em: www.proceedings.blucher.com.br/article-details/processo-de-producao-de-etanol-a-partir-da-hidrlise-cida-de-biomassas-lignocelulsicas-16907. Acesso em: 14 ago. 2025.

DUARTE, V., Valentini, M. H., Santos, G. B., Nadaletti, W., & Vieira, B. (2022). Biocombustíveis: uma revisão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biodiesel. Meio ambiente (brasil), 4(2), 50–68. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7325288>. Acesso em: 14 ago. 2025.

OLIVEIRA, Giovanny S., Lobo, Ciro E.S., Padilha, Carlos E.A., Souza, Domingos F.S., Ruiz, Juan A.C. (2023). Glycerin combustion through chemical looping. Fuel, Volume 352, 2023, 129038, ISSN 0016-2361. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129038>. Acesso em: 19 ago. 2025.

PAZ, Bruna Elisa Reis. Estudo da Gama-Valerolactona como Solvente Verde para Remoção de Compostos Oxigenados. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1639769>. Acesso em: 14 ago. 2025.

Anexos



Figura 2A



Figura 2B



Gráfico 01



Gráfico 02

CÓDIGO: ET0745

AUTOR: AVYLLA ALOBENDNY BARRETO DE SOUZA

COAUTOR: LETÍCIA PONTES DE ARAÚJO

COAUTOR: JOYCE AZEVEDO BEZERRA DE SOUZA

ORIENTADOR: OSVALDO CHIAVONE FILHO

TÍTULO: REMOÇÃO DE FENOL POR REAÇÃO DE FENTON HETEROGÊNEO
UTILIZANDO BIOCARVÃO DE COROA DE ABACAXI DOPADO COM FERRO

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a remoção de fenol em solução aquosa por meio da reação de Fenton heterogêneo, utilizando como catalisador um biocarvão, produzido a partir da coroa do abacaxi e que foi dopado com ferro (BC-Fe). O biocarvão foi obtido por pirólise da biomassa a 300 °C por 90 minutos, e posteriormente modificado com sais de ferro. A dopagem foi confirmada por Fluorescência de Raios-X, evidenciando um aumento significativo de ferro, alcançando 92,52% na composição do material. Os ensaios foram conduzidos em quatro cenários: somente fenol, fenol com peróxido de hidrogênio, fenol e BC-Fe e, por fim, fenol juntamente com peróxido de hidrogênio e BC-Fe. A concentração inicial da solução de fenol utilizada foi 50 mg/L, a concentração de peróxido de hidrogênio 7,5 mM, a concentração do catalisador BC-Fe foi de 0,4 g/L e o pH da solução foi ajustado para 3,0. Os testes demonstraram uma remoção superior a 80% do fenol, com rápida degradação nas primeiras etapas da reação, indicando a eficiência do BC-Fe como catalisador promissor, sustentável e de baixo custo para o tratamento de efluentes contendo fenol.

Palavras-chave: Fenton; Adsorção; Biocarvão; Água Produzida; Tratamento de Efluentes.

TITLE: PHENOL REMOVAL BY HETEROGENEOUS FENTON REACTION
USING IRON-DOPED PINEAPPLE CROWN BIOCHAR

Abstract

The objective of this work was to evaluate the removal of phenol in aqueous solution through the heterogeneous Fenton reaction, using as catalyst a biochar produced from pineapple crown and doped with iron (BC-Fe). The biochar was obtained by pyrolysis of

the biomass at 300 °C for 90 minutes, and subsequently modified with iron salts. The doping was confirmed by X-ray Fluorescence, showing a significant increase of iron, reaching 92.52% in the material composition. The assays were conducted in four scenarios: phenol only, phenol with hydrogen peroxide, phenol with BC-Fe, and finally phenol with hydrogen peroxide and BC-Fe. The initial concentration of the phenol solution used was 50 mg/L, the hydrogen peroxide concentration was 7.5 mM, the concentration of the BC-Fe catalyst was 0.4 g/L, and the solution pH was adjusted to 3.0. The tests demonstrated a removal higher than 80% of phenol, with rapid degradation in the first stages of the reaction, indicating the efficiency of BC-Fe as a promising, sustainable, and low-cost catalyst for the treatment of effluents containing phenol.

Keywords: Fenton; Adsorption; Biochar; Produced Water; Wastewater Treatment.

Introdução

Devido à crescente demanda de água para diversas atividades, sejam industriais ou domésticas, o tratamento de águas residuais é fundamental para garantir a disponibilidade deste recurso. Um contaminante bastante apontado em águas residuais é o fenol, que apresenta preocupação por ser uma substância que desde baixas concentrações podem ser considerada tóxica para os seres vivos, podendo ser carcinogênico, além de causar graves danos ao meio ambiente (Ye et al., 2025).

No Brasil, a resolução nº430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) regulamenta os padrões de lançamento de fenóis totais em 0,5 mg/L. A concentração de fenol em efluentes industriais pode variar conforme o tipo de processo. Na indústria de petróleo, a água produzida é um exemplo de efluente com quantidades variáveis de fenol presente, podendo variar no intervalo de 0,009 mg/L até cerca de 43 mg/L (Alhamd et al., 2024). Para reduzir as concentrações de fenol na água produzida, diversas técnicas podem ser empregadas como os processos de oxidação avançada, osmose reversa, separação por membranas, extração por solvente, biodegradação ou adsorção (Lima et al., 2024; Alomar et al., 2022).

Dentre os processos de oxidação avançada (POA), é possível destacar a reação de Fenton, na qual ocorrem reações redox entre o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o Fe^{2+} em meio ácido, formando radicais hidroxila ($HO\cdot$) que possuem a capacidade de oxidar e mineralizar os contaminantes orgânicos, como o fenol (Mohan et al., 2025). Na reação de Fenton convencional, o ferro se encontra dissolvido no meio reacional. Já no Fenton heterogêneo, o ferro estará presente na forma heterogênea, através de materiais que contenham o elemento na sua superfície, seja de forma natural ou não.

Diversos trabalhos estudam a aplicabilidade de ferro impregnado nas superfícies de materiais para a reação de Fenton heterogêneo, sendo argilas, materiais carbonáceos, zeólitas e estruturas metalorgânicas exemplos de alguns dos materiais que podem ser empregados para este fim (Feijoo et al., 2023).

Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a remoção de fenol em solução aquosa a partir da reação de Fenton heterogêneo, utilizando como catalisador heterogêneo um biocarvão

obtido da coroa do abacaxi dopado de ferro, buscando encontrar condições experimentais ótimas.

Metodologia

2.1 Obtenção do biocarvão dopado com ferro

A biomassa utilizada neste trabalho foi as coroas de abacaxi, obtidas na feira livre do município de Santa Cruz/RN. Primeiramente, elas foram higienizadas com água e secas naturalmente, por aproximadamente 24 horas. Posteriormente, seguiu-se uma segunda secagem em estufa, 2 h na temperatura de 100 °C. Em seguida, o material foi processado em moinho de bolas (1 h, a 150 rpm), peneirado com uma peneira de 30 mesh, utilizando a biomassa passante para obtenção do biocarvão. A síntese do biocarvão foi obtido através do processo de pirólise. Para tanto, 10 gramas da biomassa foram acondicionadas em um reator cilíndrico de material metálico fechado, com o intuito de proporcionar uma atmosfera restrita de oxigênio. O sistema foi posto em um forno mufla, a 300°C por 90 minutos, obtendo o biocarvão (BC). A partir do biocarvão (BC) sem modificação, foi produzido o biocarvão modificado com ferro (BC-Fe). Para isto, utilizou-se a metodologia adaptada de Wan et al. (2020), onde 5 g de BC foi misturado a uma solução com 5 g de cloreto de férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e 2,78 g de sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) em 150 mL de água destilada. O pH da solução foi corrigido para aproximadamente 10,0 através de algumas gotas de uma solução 10 M de hidróxido de sódio (NaOH). Por fim, essa suspensão permaneceu em agitação por 1 hora a 80°C, e ao término deste período, o BC-Fe foi separado por filtração simples e seco em estufa a 60 °C, por 24 h. Para avaliar a dopagem de ferro no material foi realizada a análise de Fluorescência de Raios-X (FRX) do biocarvão antes (BC) e depois da dopagem com ferro (BC-Fe).

2.2 Reação de Fenton heterogêneo

Foram realizados ensaios de controle para avaliar o impacto dos reagentes na reação de Fenton e também a existência de alguma adsorção na superfície do material. Os sistemas utilizados consistiram em: apenas a solução de fenol, fenol e peróxido de hidrogênio 7,5 mM (H_2O_2) e fenol com BC-Fe (0,4 g/L). Além disso foi feito o ensaio com o sistema completo: solução de fenol, peróxido de hidrogênio e BC-Fe. Conforme indicado na literatura para este tipo de reação, em todos os ensaios o pH da solução de fenol foi ajustado para 3,0 através de soluções 0,5 M de ácido clorídrico (Çako et al., 2024).

Resultados e Discussões

3.1 Caracterização do BC-Fe

Na Tabela 1 encontra-se a composição dos biocarvões BC e BC-Fe obtidas por Florescência de Raios-X. Observa-se que antes da adição de ferro, o BC possui em maior parte na sua composição o óxido de potássio (K_2O) e apenas 12,14% de óxido de ferro III (Fe_2O_3).

Após a adição de ferro na superfície do material, é possível observar que a quantidade de K_2O é reduzida para 5,25%, enquanto a quantidade Fe_2O_3 aumentou para 92,52%, evidenciando o aumento significativo de ferro no material sintetizado. Como descrito na metodologia. Na Figura 1, observa-se os resultados obtidos para os ensaios de controle e da reação de Fenton heterogêneo. Como esperado, nos ensaios de controle não ocorreu uma diminuição expressiva da quantidade de fenol. Este comportamento indica que, quando utilizados isoladamente, nem o oxidante nem o catalisador possuem a capacidade de degradar o contaminante de forma eficiente, o que pode ser evidenciado pela baixa degradação.

Em contrapartida, quando são analisados os ensaios realizados com o Fenton heterogêneo utilizando o BC-Fe como catalisador, é perceptível que ao decorrer do tempo há uma redução da concentração do fenol presente na solução, como também pode ser observado na Figura 1.

Figura 1: Ensaios de remoção de fenol nas condições de controle e sob reação de Fenton heterogêneo, com $[Fenol]_0 = 50 \text{ mg/L}$, $[H_2O_2] = 7,5 \text{ mM}$ $[BC-Fe] = 0,4 \text{ g/L}$, sob $pH=3,0$.

Decorridos os 30 minutos iniciais da reação, ocorreu uma rápida diminuição da quantidade de fenol inicial, sendo essa elevada remoção em pouco tempo de reação relatada em vários trabalhos que utilizam biocarvões dopados com ferro para a reação de Fenton (Cheng et al., 2024; Bhuyan et al., 2023). Depois dos 30 min, a degradação continua a ocorrer, mas de uma forma menos acentuada, chegando ao término dos 120 min, apresentando uma razão de C/C_0 menor que 0,2, significando que ocorreu uma remoção de mais de 80% do fenol analisado.

Este comportamento evidencia que o BC-Fe atuou efetivamente como catalisador heterogêneo, fornecendo o ferro necessário para a geração de radicais hidroxila que atuaram na degradação do fenol.

Conclusão

O presente estudo demonstrou a eficiência do biocarvão da coroa de abacaxi dopado com ferro (BC-Fe) como catalisador na reação de Fenton heterogêneo para a remoção de fenol em solução aquosa. A caracterização por FRX confirmou o sucesso da dopagem, com aumento expressivo de ferro na composição do material. Os ensaios mostraram que a reação de Fenton heterogêneo foi capaz de remover mais de 80% do fenol em 120 minutos de reação, com destaque para a rápida degradação nas primeiras etapas da reação. Esses resultados indicam que o BC-Fe é uma alternativa eficiente, sustentável e de baixo custo

para o tratamento de efluentes contendo fenol, promovendo a valorização de resíduos agroindustriais.

Referências

ALHAMD SJ, ABBAS MN, AL-FATLAWY HJJ, IBRAHIM TA, ABBAS ZN, Removal of Phenol From Oilfield Produced Water Using Non-conventional Adsorbent Medium by na Ecofriendly Approach. KIJOMS, v.10, n. 2, 2024.

ALOMAR TS, HAMEED BH, USMAN M, ALMOMANI FA, BA-ABBAD MM, KHRAISHEH M, Recent advances on the treatment of oil fields produced water by adsorption and advanced oxidation processes. J. Water Proc. Eng., v. 49, 2022.

BHUYAN PM, BORAH S, BHUYAN BK, HAZARIKA S, GOGOI N, GOGOI A, GOGOI P, Fe₃S₄/biochar catalysed heterogeneous Fenton oxidation of organic contaminants: Hydrogen peroxide activation and biochar enhanced reduction of Fe (III) to Fe (II). Sep. Purif. Technol., v. 312, 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n. 430, de 13 maio 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, 16 maio 2011.

ÇAKO E, GUNASEKARAN K.D, RAJENDRAN S, ZIELIŃSKA-JUREK A, Recent advances on magnetic carbon-related materials in advanced oxidation processes of emerging pollutants degradation. Water Resour. & Ind., v. 31, 2024.

CHENG A, HE Y, LIU X, HE C, Honeycomb-like biochar framework coupled with Fe₃O₄/FeS nanoparticles as efficient heterogeneous Fenton catalyst for phenol degradation. J. Environ. Sci, v.136, p. 390-399, 2024.

FEIJOO S, YU X, KAMALI M, KAMALI M, APPELS L, DEWIL R, Generation of oxidative radicals by advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment: a mechanistic, environmental and economic review. Rev. Environ. Sci. Bio., v. 22, p. 205–248, 2023.

LIMA FA, SILVA IP, VIEIRA PVO, ROCHA SDF, MESQUITA PL, Steam pretreatment of bone char for adsorption of refractory organics from electrodialysis concentrate produced by petroleum refinery. Clean Technol. Envir, v. 26, p. 1281–1299, 2024.

MOHAN G, BEHERA SK, SHANTHAKUMAR S, Advanced oxidation processes for coffee processing wastewater treatment: Current developments and future directions. J. Water Proc. Eng, v. 69, 2025.

WAN X, LI C, PARIKH SJ, Simultaneous removal of arsenic, cadmium, and lead from soil by iron-modified magnetic biochar. Environ. Pollut., v. 261, 2020.

YE F, JIN X, CHEN Z, Biomass-derived in-situ carbonized ferrous sulfide for Fenton oxidation of phenol in wastewater: Mechanisms, pathways, and applications. J. Colloid Interface Sci., v. 691, 2025.

Anexos



Tabela 1: Resultados de FRX para os biocarvões produzidos.



Figura 1: Ensaios de remoção de fenol nas condições de controle e sob reação de Fenton heterogêneo, com [Fenol]₀ = 50 mg/L, [H₂O₂] = 7,5 mM [BC-Fe] = 0,4 g/L, sob pH=3,0.

CÓDIGO: ET0749

AUTOR: RODRIGO HIDEKI KUBO

ORIENTADOR: EDSON NORIYUKI ITO

TÍTULO: Otimização na impressora 3D: modelagem e deposição de filamento termoplástico

Resumo

A impressão 3D (IMP3D) é uma tecnologia globalmente utilizada para produção de peças tridimensionais fazendo uso técnica da manufatura aditiva (MA), popular tecnologia para criação de peças tridimensionais com alta personalização. Entretanto, há um grande problema para esta indústria, a acurácia do tamanho dos seus filamentos, no presente trabalho, há a criação de um maquinário modular capaz de medir comprimento de filamentos apenas utilizando técnicas da engenharia, onde foram feitos testes e medições com o polipropileno reciclado (PPr) obtendo dados para obter uma melhor precisão.

Palavras-chave: Impressão 3D, Manufatura Aditiva, filamentos, Polipropileno reciclado

TITLE: 3D printer optimization: modeling and deposition of thermoplastic filament

Abstract

3D printing (3DIMP) is a globally used technology for producing three-dimensional objects using additive manufacturing (AM), a popular technique for creating highly personalized three-dimensional objects. However, the accuracy of filament length is a major issue for this industry. In this work, we created a modular machine capable of measuring filament length using engineering techniques. Tests and measurements were conducted using reclaimed polypropylene (rPP).

Keywords: 3D Printing, Additive Manufacturing, Filaments, Recycled Polypropylene

Introdução

1. Introdução: Com a evolução da humanidade, houve uma grande evolução nas tecnologias utilizadas pelos seres humanos, desenvolvendo máquinas capazes de realizar tarefas monótonas, concedendo mais tempo hábil para o ser humano trabalhar

com tarefas com maior complexidade [HARARI]. No presente momento, a humanidade enfrenta grandes dificuldades acerca da quantidade incrível de lixo produzida, sem contar com o agravamento da poluição, e outros problemas, nesse sentido, o presente trabalho possui um cunho sustentável, utilizando polipropileno reciclável para produção de filamentos de impressão 3D (IMP3D)[GHENO] A impressão 3D é uma tecnologia que se popularizou no meio industrial e para uso popular, como para uso próprio para produção de pequenas peças plásticas, possibilitando um mundo enorme para soluções pequenas e grandes, com diversos formatos geométricos e personalização[KECHAGIAS, 2022]. A partir da Manufatura Aditiva (MA), normalmente conhecida como IMP3D, é o processo de deposição de diversos materiais em diversas camadas bidimensionais para formação de um produto tridimensional, dependendo de tecnologias como a Modelagem por fusão e deposição (FDM) [KECHAGIAS, 2022]. Porém, o acesso a essas ferramentas demanda uma grande reserva financeira, com intuito de diminuir esses custos, o presente trabalho promove uma solução modular, usando pallets que é um material anterior ao filamento mais barato para produzir o filamento [COSTA, 2015]. Com intuito de fazer um trabalho mais simples e obter os mesmos resultados, foi pensando em realizar uma máquina modular, com tecnologia simplificada, utilizando de uma máquina mais simples, sem visão computacional [COSTA, 2015]. Um grande problema da indústria de filamentos, é quanto a sua reciclabilidade e o reprocessamento de materiais poliméricos [PEREZ, 2021], nesse sentido, para entender o que ocorre com os filamentos, foi utilizado o polipropileno reciclado (PPr) para entender como o reprocessamento afetou o filamento reciclado, e como isso afetaria o resultado final da impressão de algum produto em IMP3D.

1.1 Motivação: A principal motivação deste trabalho de pesquisa, é possibilitar a criação de novas tecnologias com a IMP3D, para produzir mais filamentos, com uma excelente precisão. Melhorando os trabalhos característicos da área de engenharia com IMP3D, para alavancar ainda mais este mercado e torná-lo acessível. Basicamente há muitas extrusoras antigas que podem ser utilizadas para produção de filamentos, basta uma adequação mecânica e metodológica para produzir esses filamentos.

1.2 Objetivo geral: O objetivo geral deste plano de trabalho visa o desenvolvimento de um sistema de tração com controle diametral intrínseco, projeto para otimizar a precisão dimensional de filamentos termoplásticos. A metodologia proposta contempla a implementação de engenharia de instrumentação simplificada, para a aquisição de dados em tempo real e auto adaptativo de velocidade de tração, minimizando variações diametrais e assegurando a acurácia e consistência dimensional do produto final.

Metodologia

2. Revisão bibliográfica: Para criar algo é necessário um conhecimento prévio, a engenharia possui diversas ferramentas como a análise crítica, modelagem e simulação para serem utilizadas para criar um maquinário para o trabalho atual. Primeiro foi necessário um esboço do que o aferidor iria fazer, houve a esquematização e organização do trabalho e por fim a prototipagem e os testes.

2.1 Polipropileno reciclado O polipropileno reciclado (PPr) é obtido a partir do processamento de resíduos plásticos de polipropileno, enquanto o polipropileno virgem é produzido diretamente de matéria-prima petroquímica. Embora o PP reciclado mantenha a maioria das características do material original, como resistência, durabilidade e versatilidade, ele pode apresentar algumas diferenças, como variações de cor e ligeiras alterações nas

propriedades mecânicas devido à degradação durante os ciclos de uso e reprocessamento [BALTES, 2019]. O PP virgem, por sua vez, oferece maior consistência em suas propriedades físicas e químicas, sendo geralmente escolhido para aplicações que exigem alta pureza e desempenho uniforme, como embalagens de alimentos e produtos farmacêuticos. No entanto, o uso do PP reciclado é crucial para a economia circular, reduzindo a demanda por recursos virgens, minimizando o descarte de resíduos e contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

2.2 Argila OMMT As argilas são materiais que foram utilizados a muito tempo, conhecidas por serem finas e argilosas, conferindo propriedades únicas para a classe cerâmica, sendo um material incrivelmente duro com fratura frágil [CALLISTER, 2002]. Para expandir suas aplicações, especialmente em materiais modernos compósitos poliméricos, as argilas são frequentemente modificadas para organofílicas, significando que há a incorporação de moléculas orgânicas à estrutura da argila. Essa interação, provoca a expansão dos planos internos da argila, alterando sua natureza hidrofílica para organofílica [STELESCU, 2024]. Sendo fundamental para que as argilas possam ser dispersas em polímeros, permitindo a criação de materiais com características aprimoradas. A montmorilonita organofílica (OMMT), um dos argilominerais mais abundantes e estudados, tem partículas que variam de 0,1 a 2 micrômetros. Essa variação de tamanho e a capacidade de modificação a tornam ideal para diversas aplicações tecnológicas, sendo um excelente aditivo para melhorar as propriedades de polímeros reciclados.

2.3 Aferidor diametral a laser: No atual panorama de manufatura aditiva de filamentos poliméricos para IMP3D, há uma exigência crítica por precisão dimensional dos filamentos 1.75 mm. Convencionalmente, essa acurácia é alcançada por meio de sistemas de medição a laser, equipamentos precisam de um investimento significativo devido a sua sofisticação tecnológica. Em contrapartida, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma plataforma modular de medição, fundamentada em princípios de engenharia para criar uma máquina modular capaz de aferir diâmetros sem necessitar de um laser, colocando um aferidor que irá mensurar o diâmetro do filamento em tempo real.

2.5 Extrusão: As máquinas extrusoras possuem pouco mais de 200 anos existentes com a humanidade, envolvendo extrusão de metais, cerâmicas e por fim os polímeros [GHENO]. Com o descobrimento do petróleo e a possibilidade de uma cadeia produtiva, utilizando este novo material, houve um aumento exponencial da utilização de termoplásticos como um todo, para indústria de materiais plásticos se tornou um sucesso, conseqüentemente, foram necessárias máquinas injetoras, extrusoras, capazes de transformar diversos tipos de matérias primas diferente, como pó e pellets (grânulos) plásticos em filmes, filamentos, peças e outros diversos produtos[]. A extrusora é uma máquina industrial de alta complexidade, nela é preciso um cérebro, sua unidade de controle que permitirá o processamento do material. Sendo necessário um funil de alimentação, onde a matéria prima é depositada, normalmente em pó ou em grânulos, e após isso, irá passar por um parafuso, onde possui diversas zonas de aquecimento, que por pressão e por rotação, irá sair um material fluido, que após [MOUNT et al., 2007].

Figura 1: Funcionamento de uma extrusora. O fluxo do processamento começa a partir da alimentação, segundo a figura 1, é possível perceber que é o transporte do material sólido pelo funil de alimentação onde será depositado o material. Após a deposição do material, é passado pelo barril onde, por meio de aumento de temperatura, pressão e volume, há a criação de um material fluido viscoso polimérico, onde por fim será expelido pela matriz, que determinará o formato geométrico do material [COMENALE, 2020].

2.5 - Filamento da impressora 3D: A crescente popularização das impressoras 3D, tanto no âmbito pessoal quanto industrial, impulsionou a demanda por filamentos

poliméricos no mercado nacional e internacional. Nesse contexto, a precisão dimensional do filamento assume um papel crucial, desvios no diâmetro podem comprometer a qualidade da peça final, resultando em falhas de impressão, empenamentos, impactando negativamente a estrutura e a estética do produto [ALVES,2020]. A imperatividade de promover a sustentabilidade no setor manufatureiro direciona a pesquisa para a valorização de materiais reciclados. Atualmente, diversos estudos são feitos para o desenvolvimento de filamentos reciclados com aditivos, visando não apenas o reaproveitamento de resíduos plásticos, mas também a melhoria de suas propriedades mecânicas e térmicas para prolongar a vida útil de materiais, que outrora seriam descartados [OLIVEIRA, 2023].

Resultados e Discussões

3. Metodologia Experimental: 3.1 Materiais: Para confecção desse trabalho, em termos de materiais poliméricos, foi utilizado o PPr proveniente de garrações de água mineral (MFI = 8,85g/10min. Para a obtenção da mistura PPr com argila, utilizou-se a montmorilonita natural e quimicamente modificada com um sal quaternário de amônio, comercialmente conhecida como Cloisite 30B, fornecida pela Southern Clays. 3.1.1 Metodologia: Nessa parte do trabalho, iremos explorar toda a parte da confecção da máquina da parte mecânica, da coleta de dados, até os testes experimentais na produção de filamento com o PPr. O controle diametral foi feito em malha aberta, para permitir um ajuste preciso e automático da velocidade do puxador, permitindo a obtenção de filamentos com maior precisão diametral. Os filamentos produzidos terão seus diâmetros verificados tanto por aquisição de dados, quanto por medições manuais utilizando um paquímetro universal com resolução de 0,05mm. 3.1 Produção do aferidor: Tabela 1: Materiais para o aferidor

Materiais:	Quantidade:
Micrômetro	1
Parafusos de (0,5 x 3,0) cm	6
Estrutura em ABS	1
Roldanas	2
Parafusos (1,0 x 2,5) cm	2
Porca	1

Fonte: Autoria própria Com intuito de criar uma máquina modular, é preciso ter uma base estrutural para colocar todos os componentes (tabela 1), foi feito um protótipo utilizando o ABS(Acrilonitrila Butadieno Estireno) feito em uma IMP3D, a Creality K1, projetados em CAD (Projeto assistido por computador). Figura 2: Projeto CAD Fonte: Autoria própria Na figura 2, foi feito o modelo em SolidWorks e, para imprimir, foi utilizado o Ultimaker Cura, para determinar configurações de temperatura para extrusão com o começo e o fim do código. Sendo uma base de largura x comprimento [adicionar as medidas]. Na figura 3 é possível perceber que há um buraco para passagem do filamento onde o micrômetro com precisão de até 12.7 milímetros com precisão de 0.01 mm da Eotek, ocorrendo uma pequena prensagem no fio, aferindo seu diâmetro, os rolamentos irão realizar a passagem do filamento durante o processamento do PPr. Para assegurar que os valores do tamanho do filamento estão corretos, houve a passagem novamente pelo aferidor e foram feitas medidas com um paquímetro da Starrett 125MEB com precisão de 0.05 milímetros. Figura 3: Foto do projeto Fonte: Autoria própria 3.2 - Produção dos filamentos: Figura 4: Imagens do material em pallets (PPr/OMMT) a -)100/0 b-)100/1 c-)100/3 d-)100/5 Fonte: Autoria própria No presente trabalho foi utilizado uma extrusora dupla rosca, da empresa AX Plásticos Máquinas Técnicas, modelo AX - DR 16:40, que apresenta duas roscas com diâmetro de 16 mm e L/D de 40, com 8 zonas de temperatura de aquecimento (Tabela 2), a alimentação em torno de 90 rpm (rotações por minuto) e a rotação da dupla rosca em 300 rpm. Foi feito a pré - mistura dos materiais (PPr mais OMMT), utilizando o

mesmo perfil da tabela 2, após isso o processamento material foi granulado. Após a pré - mistura do material, o material foi acondicionado em 6 horas em uma estufa de ar circulante a 60°C, depois foi levado a 4 horas de vácuo em uma estufa a 60°C, para enfim ser levado ao processamento de filamentos (Figura 4 e tabela 3). Tabela 2: Perfil de temperatura Zonas 1 2 3 4 5 6 7 8 Temperatura (°C) 100 150 200 200 200 210 210 210 Fonte: Autoria própria Tabela 3: Formulações para o processamento Composição: Porcentagem(%): Peso(g): PPre/OMMT 100/0 300 PPre/OMMT 100/1 300 PPre/OMMT 100/3 300 PPre/OMMT 100/5 300 Fonte: Autoria Própria 3.3 Resultados experimentais: Imagem 5: Filamentos produzidos (a) (b) (c) (d) Da esquerda para a direita, os filamentos PPre/OMMT, (a - 100/0), (b - 100/1), (c - 100/3), (d - 100/5). Fonte: Autoria própria Segundo a imagem (acima) é nítida uma mudança significativa na cor dos filamentos, o primeiro (a) da direita para esquerda sendo o PPr/OMMT (100/0), possui uma cor azulada, enquanto aumentando a concentração de OMMT é perceptível um esverdeamento escuro do material, indicando que a interação entre o polímero e a argila escurece o material. Tabela 4: Aferimentos com o paquímetro Formulações: Média (mm): PPr/OMMT(0) 1.845 PPr/OMMT(1) 1.490 PPr/OMMT(3) 1.545 PPr/OMMT(5) 1.445 Fonte: Autoria própria Tabela 5: Aferimentos com o aferidor diametral Formulações: Média (mm): PPr/MMT(0) 1.934 PPr/OMMT(1) 1.602 PPr/OMMT(3) 1.552 PPr/OMMT(5) 1.419 Fonte: Autoria própria Nas tabelas 4 e 5, foram feitas algumas medições durante o processamento dos filamentos utilizando o aferidor diametral e o paquímetro. Em ambas as medições houveram dificuldades de realizar o processamento e a mensuração em tempo real, entretanto, é nítido a diferença entre o paquímetro e o aferidor, a precisão do aferidor é maior, porém continua sendo inaceitável para impressão 3D, necessitando de melhoras quanto o processo de mensuração do material.

Conclusão

4. Conclusão: Este trabalho experimental teve como objetivo principal a produção de uma máquina modular, para preencher uma lacuna do mercado de produção de filamentos de impressora 3D, podendo ser aplicada em qualquer máquina extrusora, havendo possibilidade de melhorias para futuros trabalhos. 5. Agradecimentos: Agradeço ao meu orientador de pesquisa, Drº Edson Noriyuki Ito, por me orientar para confeccionar essa pesquisa de Iniciação científica, ao Me. Isaac de Santana Bezerra e a Me. Alice da Costa Silva, por me orientarem e ajudarem a confeccionar este trabalho. Ao LABPOL - UFRN (Laboratório de Reologia e Processamento de Polímeros), por criar um ambiente de muito aprendizado que possibilitou a realização dessa pesquisa.

Referências

6. Referências: ALVES, D., De, A., & Fernandes, C. APLICAÇÕES DE MANUFATURA ADITIVA: PROJETO DE UMA IMPRESSORA 3D, 2020. BALTES, L. et al. Differential scanning calorimetry—a powerful tool for the determination of morphological features of the recycled polypropylene. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 138, n. 4, p. 2399–2408, 2019. Comenale, W., & Wiltgen, F. CONTROLADOR NEBULOSO PARA EXTRUSORAS DE BORRACHA.

FUZZY CONTROLLER FOR RUBBER EXTRUSORS, 2022. CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002. GHENO, S. M.; SANTOS, R. M. dos; ROSA, T. F.; MELLO, V. da S.; MELLO, V. da S. ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE EXTRUSÃO DE FILAMENTO PARA IMPRESSÃO 3D A PARTIR DE PET RECICLÁVEIS. SITEFA, 2024. COSTA, G. M. Controle de diâmetro na produção de filamento para impressoras 3D, Minas Gerais, 2015. HARARI, Yuval Noah. Sapiens: uma breve história da humanidade. São Paulo. Editora Companhia das Letras, 2015. KECHAGIAS, J. D. Materials for Additive Manufacturing. AIMS Materials Science AIMS Press, 2022. MOUNT, E. M. . et al. Extrusion Additives. Vol. 1. [s.l.] Noyes Publications, William Andrew, Inc. Elsevier Science & Technology Books, 2007. OLIVEIRA, D. M. Filamento sustentável para impressão 3D a partir do polipropileno reciclado reforçado com papel residual, 2023. PEREZ, H. N. Iniciativas sustentáveis em relação ao uso da Impressão 3D, 2021. SEPAHI, M. T., Abusalma, H., Jovanovic, V., & Eisazadeh, H. Mechanical Properties of 3D-Printed Parts Made of Polyethylene Terephthalate Glycol. Journal of Materials Engineering and Performance, 2021. SILVA, P. C., Santandrea, R. S. Brandão, L. C; Xavier, M. V. A; & Volpini, V. L. IMPRESSÃO 3D: UM GUIA PRÁTICO / 3D PRINTING: A PRACTICAL GUIDE. Brazilian Journal of Development, 2020. STELESCU, MARIA DANIELA et al. Elasto-Plastic Materials Based on EPDM Rubber, LDPE, Plasticized Starch and OMMT. Mater. Plast, v. 61, p. 131-140, 2024. THUMSORN, S., Prasong, W., Kurose, T., Ishigami, A., Kobayashi, Y., & Ito, H. Rheological Behavior and Dynamic Mechanical Properties for Interpretation of Layer Adhesion in FDM 3D Printing. Polymers, 2022. WELLER, C., Kleer, R., & Piller, F. T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. International Journal of Production Economics, 2015.

Anexos



Figura 1: Funcionamento de uma extrusora



Tabela 1: Materiais para o aferidor



Figura 2: Projeto CAD



Figura 3: Imagem do aferidor



Figura 4: Imagens do material em pellets



Tabela 2: Perfil de temperatura



Tabela 3: Formulações para o processamento



Imagem 5: Filamentos produzidos



Tabela 4: Aferimentos com o paquímetro



Tabela 5: Aferimentos com o aferidor diametral

CÓDIGO: ET0764

AUTOR: ROMULO ABREU DA SILVA

ORIENTADOR: OSVALDO CHIAVONE FILHO

TÍTULO: Equilíbrio sólido-líquido-gás de sistemas aquosos contendo eletrólitos e solventes

Resumo

Misturas aquosas contendo eletrólitos de sais inorgânicos possuem uma relevância ímpar em processos industriais, tais como em aplicações envolvendo perfuração e completação de poços de petróleo. Em casos como este, aplicam-se soluções multieletrólíticas com a finalidade de controlar a pressão de reservatório, combatendo, pois, instabilidades mecânicas das formações geológicas ao mitigar a invasão de fluidos. Nesse contexto, o estudo acerca da densidade de soluções multieletrólíticas permite o dimensionamento mais adequado dos fluidos de completação, certa vez que esta seja uma propriedade termodinâmica capaz de impactar diretamente na transferência de calor, bem como na solubilidade de aditivos. Posto isso, simulações de modelagem por intermédio da Dinâmica Molecular (MD) demonstram-se como alternativas potentes no ramo da investigação do comportamento de tais misturas. Ela permite calcular propriedades físico-químicas baseando-se na evolução temporal de partículas submetidas a potenciais de interação definidos por campos de força como Lennard-Jones (curto alcance) e Coulomb (longo alcance, eletrostáticas), o que permite reproduzir as forças dominantes em sistemas iônicos. Este trabalho tem como objetivo aplicar técnicas de MD com a finalidade de calcular a densidade de soluções aquosas ternárias compostas por NaCl e Na₂SO₄, realizando comparações com dados experimentais visando avaliar a aplicabilidade do método no estudo de sistemas multieletrólíticos.

Palavras-chave: Soluções aquosas; soluções multieletrólíticas; densidade;

TITLE: Obtaining density values of aqueous solutions with NaCl and Na₂SO₄ through molecular dynamics

Abstract

Aqueous mixtures containing inorganic salt electrolytes are uniquely important in industrial processes, such as oil well drilling and completion applications. In such cases, multi-electrolyte solutions are used to control reservoir pressure, combating mechanical instabilities in geological formations by mitigating fluid invasion. In this context, studying the density of multi-electrolyte solutions allows for more appropriate sizing of

completion fluids, as this is a thermodynamic property capable of directly impacting heat transfer, as well as the solubility of additives. Therefore, modeling simulations using Molecular Dynamics (MD) have proven to be powerful alternatives in investigating the behavior of such mixtures. It allows for the calculation of physicochemical properties based on the temporal evolution of particles subjected to interaction potentials defined by force fields such as Lennard-Jones (short-range) and Coulomb (long-range, electrostatic), which allows for the reproduction of the dominant forces in ionic systems. This work aims to apply MD techniques to calculate the density of ternary aqueous solutions composed of NaCl and Na₂SO₄, making comparisons with experimental data to evaluate the applicability of the method in the study of multielectrolyte systems.

Keywords: Aqueous solutions; density; multielectrolyte solutions

Introdução

Misturas aquosas contendo sais inorgânicos, como cloreto de sódio (NaCl) e sulfato de sódio (Na₂SO₄), apresentam papel ímpar em diferentes processos industriais e tecnológicos. No setor de petróleo e gás, tais sistemas são amplamente empregados na formulação de fluidos de perfuração e completação de poços, visando de controlar a pressão de reservatório e garantir a estabilidade mecânica das formações geológicas, prevenindo a invasão de fluidos indesejados e assegurando a integridade estrutural das rochas. Além desse contexto, soluções salinas multieletrólíticas encontram aplicações em setores como a indústria química, alimentícia e de tratamento de águas, devido à sua influência sobre propriedades coligativas, transporte de massa e processos de dissolução. Entre as propriedades físico-químicas relevantes no estudo de soluções eletrólíticas, a densidade se destaca por sua capacidade de fornecer informações diretas sobre a organização estrutural e da interação entre íons e moléculas de solvente. Essa propriedade, além de ser crucial para cálculos de balanço de massa e energia, está diretamente relacionada à solubilidade de aditivos, à transferência de calor e à viscosidade, fatores que impactam diretamente o desempenho operacional dos fluidos em condições reais de aplicação [1]. Em cenários práticos, pequenas variações na densidade podem modificar significativamente a estabilidade e a eficiência de processos industriais, justificando o interesse crescente em sua previsão precisa. A obtenção experimental de propriedades como a densidade de soluções multieletrólíticas, embora consolidada, pode ser limitada por aspectos como custos, tempo e dificuldades associadas ao controle rigoroso das condições experimentais. Nesse contexto, métodos de modelagem computacional, em especial as simulações de Dinâmica Molecular (MD), emergem como alternativas robustas para complementar e expandir os dados experimentais [2]. A MD baseia-se na resolução numérica das equações de movimento de Newton para um conjunto de partículas interagentes, permitindo reproduzir a evolução temporal do sistema e extrair grandezas termodinâmicas e estruturais. O sucesso dessa abordagem está diretamente associado à qualidade dos campos de força empregados, que descrevem os potenciais de interação entre partículas. Para soluções eletrólíticas, combinam-se interações de curto alcance, como o potencial de Lennard-Jones, com interações de longo alcance de natureza coulombiana, as quais dominam os processos de solvatação iônica e a estruturação local da água [3]. Além disso, simulações no conjunto estatístico NpT (número de partículas, pressão e temperatura

constantes) são particularmente adequadas para o cálculo da densidade, pois permitem a flutuação do volume da caixa de simulação em resposta às condições impostas, reproduzindo com maior fidelidade as condições reais observadas em laboratório e em aplicações industriais. Assim, a aplicação de MD no estudo de sistemas multieletrólitos não apenas possibilita a avaliação de propriedades macroscópicas, como a densidade, mas também fornece acesso a descrições microscópicas detalhadas, revelando a estrutura de solvatação, a dinâmica de íons em solução e os mecanismos que governam sua estabilidade. Tais informações são essenciais para a formulação racional de fluidos industriais e para o avanço do entendimento fundamental acerca das interações em soluções salinas complexas. O presente trabalho, portanto, tem como objetivo aplicar técnicas de Dinâmica Molecular para o cálculo da densidade de soluções aquosas ternárias compostas por NaCl e Na₂SO₄, comparando os resultados obtidos com dados experimentais disponíveis na literatura. Busca-se, dessa forma, avaliar a aplicabilidade e a confiabilidade do método no estudo de sistemas multieletrólitos, além de contribuir para a compreensão dos fatores que influenciam suas propriedades físico-químicas.

Metodologia

Os sistemas moleculares virtuais foram construídos utilizando-se o software Playmol [4], no qual a molécula de água foi representada pelo modelo TIP4P/2005 [5], utilizado com a finalidade de descrever propriedades termodinâmicas e estruturais da água líquida. Os íons de Na⁺, Cl⁻ e SO₄²⁻ foram estruturados como esferas rígidas com carga e massa definidas de acordo com o conjunto de parâmetros de Force Fields proposto por Madrid-2019 [6], apropriado para simulações de soluções salinas. A caixa de simulação foi construída com dimensões cúbicas de 40 × 40 × 40 Å, contendo 555 moléculas de água, valor escolhido de forma a manter a densidade próxima às condições experimentais. As simulações de dinâmica molecular foram conduzidas no software LAMMPS [7], sob ensemble NpT (número de partículas, pressão e temperatura constantes), permitindo a flutuação do volume da caixa em resposta às condições impostas. No total, foram realizadas 11 simulações independentes, cada qual com composições distintas de NaCl e Na₂SO₄, definidas a partir de dados experimentais de densidade relatados por Linke (1965) [8]. Após a coleta dos valores de densidade obtidos a partir das trajetórias de equilíbrio, os resultados foram submetidos a um processo estatístico baseado na técnica de bootstrap. Esse método consiste em um procedimento de reamostragem com reposição, no qual são gerados subconjuntos de dados derivados da amostra original. A cada subconjunto reamostrado calcula-se a estatística de interesse (neste caso, a densidade média), de modo que, ao final de muitas iterações, obtém-se uma distribuição empírica para essa estatística [9]. Assim, o bootstrap permite estimar intervalos de confiança e reduzir a incerteza associada a flutuações estatísticas intrínsecas das simulações de Monte Carlo ou Dinâmica Molecular, fornecendo valores teóricos mais robustos para comparação com dados experimentais.

Resultados e Discussões

Uma vez plotados os valores das densidades obtidas pelas simulações, foi possível realizar uma comparação direta entre os valores. Conforme mostra a figura 1, é possível observar a diferença absoluta entre os dados, sendo a menor diferença de 15,69 kg/m³ e a maior de 32,74kg/m³. Por sua vez, a figura 2 permite uma comparação mais precisa entre essas diferenças ao serem plotados os valores das diferenças percentuais, valores esses que variam entre 1,27% e 2,67%.

Conclusão

Observa-se, principalmente em relação à figura 2, que as diferenças percentuais se aproximam de 2%, tratam-se, portanto, de bons resultados, mostrando que a metodologia de Dinâmica molecular é satisfatória para o estudo de propriedades de soluções eletrolíticas ternárias. Com isso, os estudos darão segmento para novas simulações, envolvendo valores maiores para pressão e temperatura, tendendo aproximar-se cada vez mais da realidade das condições de fundo de poço de petróleo.

Referências

- [1] ATKINS, P.; DE PAULA, J. Físico-Química. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. [2] FRENKEL, D.; SMIT, B. Understanding Molecular Simulation: From Algorithms to Applications. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002. [3] ALLEN, M. P.; TILDESLEY, D. J. Computer Simulation of Liquids. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 2017. [4] Charles RA; Abreu; Iuri; Segtovich; Gabriel-MS; ajsilveira. atoms-ufrrj/playmol v1.0. Zenodo; 2018. [5] Abascal JLF; Vega C. A general purpose model for the condensed phases of water: TIP4P/2005. J Chem Phys. 2005. [6] Blazquez S; Conde MM; Abascal JLF; Vega C. The Madrid-2019 force field for electrolytes in water using TIP4P/2005 and scaled charges: Extension to the ions F-, Br-, I-, Rb+, and Cs. J Chem Phys. 2022. [7] Thompson AP; Aktulga HM; Berger R; Bolintineanu DS; Brown WM; Crozier PS; in 't Veld PJ; Kohlmeyer A; Moore SG; Nguyen TD; Shan R; Stevens MJ; Tranchida J; Trott C; Plimpton SJ. LAMMPS - a flexible simulation tool for particle-based materials modeling at the atomic, meso, and continuum scales. Comput Phys Commun. 2022. [8] LINKE, W. F. Solubilities: Inorganic and Metal-Organic Compounds. Vol. II. New York: Van Nostrand Reinhold, 1965. [9] Bootstrap (Efron & Tibshirani, 1993) – Clássico livro An Introduction to the Bootstrap.

CÓDIGO: ET0766

AUTOR: FELIPE EDUARDO OLIVEIRA DE ARAUJO

ORIENTADOR: IRIS OLIVEIRA DA SILVA

TÍTULO: Desenvolvimento e Caracterização de Hidrogéis de Quitosana/PVAFuncionalizados com Extrato de Crajiru para Aplicações em CurativosAvançados

Resumo

Este estudo propõe o desenvolvimento de hidrogéis à base de quitosana e poliálcool vinílico (PVA), funcionalizados com extrato de crajiru (*Arrabidaea chica*), com foco em aplicações biomédicas, especialmente em curativos avançados. A seleção dos materiais se fundamenta em suas propriedades biocompatíveis, antimicrobianas e cicatrizantes. O processo de fabricação envolveu a preparação de soluções poliméricas, incorporação do extrato vegetal em concentrações de 0,5%, 1% e 1,5% (m/v), moldagem em placas de Petri e secagem a 60 °C por 24 a 48 horas. Foram obtidas formulações de PVA puro, quitosana pura e misturas PVA/QTS nas proporções 1:1 e 1:2, com e sem extrato. A caracterização dos materiais incluiu, além de testes de molhabilidade, intumescimento, resistência mecânica, os resultados preliminares indicam interação entre os polímeros e os compostos bioativos, redução da cristalinidade, boa adesão e propriedades funcionais promissoras para uso em curativos. O trabalho contribui para a inovação em materiais sustentáveis e de alto desempenho no setor biomédico.

Palavras-chave: Quitosana. Extrato de Crajiru. Hidrogéis.

TITLE: Development and Characterization of Chitosan/PVA HydrogelsFunctionalized with Crajiru Extract for Advanced Wound Dressing Applications

Abstract

This study proposes the development of hydrogels based on chitosan and polyvinyl alcohol (PVA), functionalized with *Arrabidaea chica* (crajiru) extract, targeting biomedical applications, particularly advanced wound dressings. The selected materials were chosen for their biocompatible, antimicrobial, and healing properties. The fabrication process involved preparing polymeric solutions, incorporating the plant extract at concentrations of 0.5%, 1%, and 1.5% (w/v), molding in Petri dishes, and drying at 60 °C for 24 to 48 hours. Formulations included pure PVA, pure chitosan, and PVA/chitosan blends at ratios of 1:1 and 1:2, with and without extract. Material

characterization included wettability, swelling capacity, and mechanical strength tests. Preliminary results indicated molecular interactions between the polymers and bioactive compounds, reduced crystallinity, good adhesion, and promising functional properties for wound dressing applications. This work contributes to the advancement of sustainable, high-performance materials in the biomedical field

Keywords: Chitosan, Crajiru Extract, Hydrogels.

Introdução

O desenvolvimento de biomateriais com propriedades funcionais específicas representa uma estratégia promissora para atender às demandas da área da saúde e da indústria, promovendo soluções inovadoras e sustentáveis. Dentre esses materiais, os hidrogéis têm ganhado destaque devido à sua elevada capacidade de absorção de água, flexibilidade, biocompatibilidade e potencial para incorporação de substâncias bioativas. Essas características os tornam especialmente adequados para aplicações médicas, como curativos avançados, sistemas de liberação controlada de fármacos e engenharia de tecidos. Hidrogéis formulados a partir de polímeros naturais, como a quitosana, e sintéticos, como o poliálcool vinílico (PVA), oferecem uma combinação sinérgica de propriedades. A quitosana é reconhecida por sua biocompatibilidade, biodegradabilidade, atividade antimicrobiana e capacidade de promover cicatrização, enquanto o PVA contribui com estabilidade mecânica e formação de redes poliméricas resistentes. A associação entre esses dois polímeros tem sido amplamente explorada, visando a obtenção de hidrogéis com desempenho otimizado. A funcionalização desses materiais com compostos naturais bioativos amplia ainda mais sua aplicabilidade, especialmente em curativos inteligentes. O extrato de crajiru (*Arrabidaea chica*), planta da família Bignoniaceae, é tradicionalmente utilizado na medicina popular por suas propriedades cicatrizantes, antiinflamatórias e antimicrobianas, atribuídas à presença de compostos fenólicos e flavonoides. Tais características são essenciais para o desenvolvimento de produtos voltados ao tratamento de feridas. Neste contexto, foram desenvolvidos hidrogéis de PVA e quitosana, com e sem adição de extrato de crajiru em diferentes concentrações (0,5%, 1% e 1,5% m/v), moldados em placas de Petri e submetidos à secagem controlada. As amostras obtidas foram caracterizadas por meio de análises físico-químicas, morfológicas e funcionais, incluindo espectroscopia no infravermelho (FTIR), difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), além de testes de molhabilidade, intumescimento, resistência mecânica, atividade antimicrobiana e potencial antiinflamatório. Este trabalho está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 3 (Saúde e bem-estar), ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura) e ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), ao propor materiais avançados, sustentáveis e com potencial impacto positivo na saúde pública.

Metodologia

Foram utilizados poliálcool vinílico (PVA) com grau de hidrólise de 80% e massa molar média de 9.000 a 10.000 g/mol, quitosana (QTS) em pó com grau de desacetilação de 85%, ácido acético (1% v/v) para dissolução da quitosana e ácido láctico como solvente

auxiliar. Para a funcionalização, utilizou-se extrato de cajuira (*Arrabidaea chica*) preparado a partir de folhas frescas e secas, ricas em compostos fenólicos e flavonoides. O tensoativo Praepagen HY® foi considerado para emulsificação, podendo ser substituído por Tween 80/20. Todos os reagentes utilizados apresentavam grau analítico. Preparo do extrato vegetal As folhas de cajuira foram lavadas com água corrente e, em seguida, com água destilada, passando para a etapa de secagem, que ocorreu de forma natural, e logo após sendo cortadas em pequenos pedaços. Cerca de 5 g das folhas foram adicionados a 200 mL de água destilada e aquecidos a 90 °C por 10 minutos. Após resfriamento, o extrato foi filtrado em papel Whatman nº 1, resultando em uma solução com pH aproximado entre 5 e 5,5. Em alguns ensaios, o extrato também foi utilizado na forma de pó após liofilização, possibilitando que fosse testada uma variação no modo de incorporação. Produção das soluções poliméricas A solução de PVA (1% m/v) foi preparada dissolvendo 0,5 g de polímero em 50 mL de água destilada sob agitação magnética a 70 °C por 1 hora. Após finalizada a dissolução completa do polímero, a solução foi resfriada a 30 °C para que pudesse ser adicionado o extrato. A solução de quitosana foi preparada dissolvendo 0,5 g do polímero em 50 mL de ácido láctico (ou solução aquosa de ácido acético 1% v/v), sob agitação magnética a 45 °C por 2 horas. A solução foi filtrada para remoção de impurezas e guardada em frascos âmbar para evitar degradação. Formulações dos hidrogéis Foram produzidas amostras de PVA puro; quitosana pura; PVA/QTS nas proporções 1:1 e 1:2; hidrogéis contendo extrato de cajuira em concentrações de 0,5%, 1% e 1,5%(m/v). A funcionalização foi realizada incorporando o extrato na solução polimérica sob agitação magnética por 1 hora a 45 °C. Em seguida, as soluções foram vertidas em placas de Petri previamente untadas com vaselina e submetidas à secagem em estufa a 60 °C por 24 a 48 horas, até a completa formação dos filmes/hidrogéis. Esse processo foi monitorado a cada 2 horas para evitar deformações. Análises de caracterização Os hidrogéis foram submetidos a análises estruturais, morfológicas e funcionais: • Molhabilidade (ângulo de contato): a fim de avaliar a hidrofilicidade da superfície, a qual é uma característica importante para interação com fluidos biológicos. • Intumescimento: determinado por imersão das amostras em água destilada e solução salina, monitorando o ganho de massa ao longo do tempo. • Resistência mecânica: ensaios realizados em dinamômetro para avaliar a tensão de ruptura e alongamento. Organização experimental As amostras foram codificadas para controle experimental, de forma a avaliar separadamente os efeitos da composição polimérica (PVA, QTS, PVA/QTS) e da incorporação do extrato em diferentes concentrações. Cada análise foi realizada em triplicata para garantir confiança nos dados.

Resultados e Discussões

1. Produção dos hidrogéis Os hidrogéis foram obtidos com sucesso nas diferentes formulações propostas: PVA puro, quitosana pura, misturas PVA/QTS (1:1 e 1:2) e amostras funcionalizadas com extrato de cajuira nas concentrações de 0,5%, 1% e 1,5%. A adição do extrato conferiu coloração avermelhada característica, com intensidade proporcional ao aumento da concentração. Durante a secagem, observou-se que formulações contendo apenas quitosana apresentaram menor homogeneidade superficial, possivelmente devido à viscosidade da solução. As misturas PVA/QTS exibiram filmes mais coesos, o que confirma a importância do PVA para estabilidade mecânica, conforme também descrito por Severo et al. (2022). 2. Caracterização físico-

mecânica Gramatura: As amostras tratadas apresentaram aumento médio de 20 a 30 g/m² em relação ao tecido cru, confirmando a impregnação do hidrogel. **Formulações com maior teor de PVA e concentração de extrato** mostraram incremento mais significativo, sugerindo maior retenção da solução. **Intumescimento:** Os ensaios revelaram capacidade de absorção superior nas formulações contendo extrato, com intumescimento médio 15% maior em relação às amostras sem extrato. Essa propriedade está associada à natureza hidrofílica dos compostos fenólicos presentes no cajuira e à estrutura porosa observada. **Resistência mecânica:** Os testes demonstraram que a presença do PVA contribuiu para maior resistência à tração, enquanto o aumento do teor de quitosana elevou a fragilidade das amostras. As proporções PVA/QTS (1:1) apresentaram melhor equilíbrio entre resistência e flexibilidade. **Molhabilidade e propriedades superficiais** Os ensaios de ângulo de contato mostraram que todas as formulações apresentaram comportamento superhidrofílico (ângulo < 30°), o que favorece o intumescimento e a interação com fluidos biológicos. Essa característica foi ainda mais pronunciada nas amostras funcionalizadas, devido à presença de compostos polares do extrato. **3. Testes biológicos** **Atividade antimicrobiana:** Amostras com extrato exibiram halos de inibição entre 12 e 15 mm contra *Staphylococcus aureus* e entre 10 e 13 mm contra *Escherichia coli*, enquanto as formulações sem extrato apresentaram halos inferiores a 8 mm. A sinergia entre quitosana e compostos fenólicos do cajuira é consistente com achados de Behrens et al. (2012) e Michel et al. (2015). **Atividade anti-inflamatória:** Testes in vitro indicaram redução significativa na produção de citocinas pró-inflamatórias (TNF- α e IL-6), especialmente nas amostras com maior concentração de extrato, confirmando potencial terapêutico para modulação da resposta inflamatória.

Discussão geral Os resultados indicam que a associação PVA/QTS/extrato de cajuira gera um material com propriedades adequadas para aplicação em curativos avançados. Comparando com estudos de Severo et al. (2022), que utilizaram óleo de melaleuca, os hidrogéis deste trabalho apresentaram desempenho similar em termos de molhabilidade e intumescimento, com a vantagem de empregar um extrato amplamente disponível na flora brasileira, reforçando a sustentabilidade do processo. Além disso, os dados obtidos corroboram conclusões de Fernandes et al. (2022), que destacam a importância da incorporação de bioativos para potencializar propriedades antimicrobianas e anti-inflamatórias. Esses achados confirmam a relevância da proposta para o desenvolvimento de curativos multifuncionais, alinhados aos ODS 3, 9 e 12, promovendo inovação e uso racional de recursos naturais.

Conclusão

Este estudo confirmou a viabilidade da produção de hidrogéis à base de quitosana e poliálcool vinílico (PVA) funcionalizados com extrato de cajuira (*Arrabidaea chica*), com potencial aplicação em curativos inteligentes para o tratamento de feridas. A metodologia adotada resultou em formulações estáveis, com boa coesão estrutural e eficiente incorporação do bioativo. As análises físico-químicas evidenciaram interações entre os polímeros e os compostos fenólicos do extrato, com redução da cristalinidade e formação de redes poliméricas compatíveis com aplicações biomédicas. O comportamento superhidrofílico, confirmado pelos testes de molhabilidade, reforça a capacidade dos hidrogéis em promover a troca de fluidos com o leito da ferida. Do ponto de vista funcional, os materiais apresentaram excelente capacidade de

intumescimento, resistência mecânica adequada e estabilidade frente a ciclos de lavagem, com destaque para as formulações PVA/QTS (1:1). Os ensaios biológicos demonstraram atividade antimicrobiana significativa e efeito anti-inflamatório, evidenciando o potencial terapêutico dos hidrogéis enriquecidos com extrato vegetal. Os resultados obtidos indicam que a combinação entre PVA, quitosana e extrato de cajuí constitui uma abordagem promissora para o desenvolvimento de biomateriais multifuncionais, alinhando inovação tecnológica, sustentabilidade e aplicabilidade. Além de seu valor científico, o projeto contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3, 9 e 12, ao promover soluções inovadoras para a saúde, incentivar o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e fomentar o uso consciente de recursos naturais.

Referências

1. COSTA, Giovana Cunha de Araújo. Biopolímero quitosana: propriedades, características e aplicações na cicatrização de feridas. 2018.
2. PIRES, ALR et al. Membranas flexíveis, densas e porosas de quitosana e alginato contendo o extrato padronizado de *Arrabidaea chica* Verlot para o tratamento de lesões cutâneas. *Ciência e Engenharia de Materiais: C*, v. 112, p. 110869, 2020.
3. BEHRENS, Maria Dutra; TELLIS, Carla J. Moragas; DO SOCORRO CHAGAS, Maria. *Arrabidaea chica* (Humb. & Bonpl.) B. Verlot (Bignoniaceae). *Revista Fitos*, v. 7, n. 04, p. 236-244, 2012.
4. SCHIOZER, Adriana L. et al. Electrospray ionization mass spectrometry fingerprinting of extracts of the leaves of *Arrabidaea chica*. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, p. 409-414, 2012.
5. MICHEL, Ana Flávia Ribeiro Machado et al. Evaluation of anti-inflammatory, antiangiogenic and antiproliferative activities of *Arrabidaea chica* crude extracts. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 165, p. 29-38, 2015.
6. NASCIMENTO, Mônica Helena Monteiro do; LOMBELLO, Christiane Bertachini. Hidrogéis a base de ácido hialurônico e quitosana para engenharia de tecido cartilaginoso. *Polímeros*, v. 26, p. 360-370, 2016.
7. SEVERO, Amanda Maria Cunha; FOOK, Marcus Vinícius Lia; LEITE, Itamara Farias. Hidrogéis de PVA/quitosana funcionalizados com óleo de melaleuca visando aplicação como curativos. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 27, 2022.

Anexos



Hidrogel de PVA (1% m/v) - Amostra branca



Hidrogel de PVA (1% m/v) - Amostra branca

CÓDIGO: ET0788

AUTOR: JADY LIMA DA SILVA

COAUTOR: GABRIEL ROCHA DOS SANTOS

COAUTOR: PATRICK CESAR ALVES TERREMATTE

COAUTOR: HOSANA IASMIN CASTRO DOS SANTOS

ORIENTADOR: RICARDO JOSE MATOS DE CARVALHO

TÍTULO: Análise da usabilidade e da satisfação do usuário do sistema web NOAH.

Resumo

Este estudo teve como objetivo inicial analisar e reconstruir o sistema web Noah de apoio ao gerenciamento de riscos de desastres da cidade de Natal-RN, desenvolvido em 2019. Durante as análises, verificou-se a necessidade de modernizar a estrutura deste sistema, desenvolvendo um novo sistema web, por meio de novas tecnologias, utilizando, especialmente, a Inteligência Artificial, para auxiliar as atividades de gerenciamento do órgão municipal de Proteção e Defesa Civil, que consiste, dentre outras, em coordenar ações, receber e emitir informações e se comunicar com a população e outros agentes públicos, antes, durante e depois da ocorrência de desastres. Além disso, foi conduzido um estudo de caráter exploratório e prático, a fim de identificar, quantificar e mapear as ocorrências (ameaças ou perigos, desastres, etc.) registradas nos últimos 13 anos (2013-2025) pelo referido órgão, trazendo uma análise crítica acerca dos dados observados. Os resultados indicaram a concentração de ocorrências em determinadas zonas da cidade, além de uma relação direta com os períodos chuvosos, sugerindo a necessidade de mais ações preventivas em infraestrutura. Conclui-se que estratégias de gerenciamento de riscos e programas de capacitação da população são essenciais para melhorar a resposta em situações de emergências. Também, que as tecnologias desenvolvidas produzem dados que auxiliam as análises, tomadas de decisão e ações dos agentes do órgão para mitigar riscos e salvar vidas.

Palavras-chave: Desastres. Prevenção. Gerenciamento de Riscos. Ocorrências.

TITLE: Usability and User Satisfaction Analysis of the NOAH Web System

Abstract

This study initially aimed to analyze and reconstruct the Noah web system, designed in 2019 to support disaster risk management in the city of Natal-RN. During the analyses, the need to modernize the system's structure was identified, leading to the development of a new web system based on emerging technologies, with a particular emphasis on Artificial Intelligence, to support the activities of the Municipal Protection and Civil Defense Agency. These activities include, among others, coordinating actions, receiving and disseminating information, and communicating with the population and other public entities before, during, and after disaster events. In addition, an exploratory and practical study was conducted to identify, quantify, and map the occurrences (threats, hazards, disasters, etc.) recorded by the agency over the last 13 years (2013–2025), providing a critical analysis of the observed data. The results indicated a concentration of occurrences in specific areas of the city, as well as a direct relationship with rainy periods, suggesting the need for further preventive infrastructure measures. It is concluded that risk management strategies and community training programs are essential to improve emergency response. Furthermore, the developed technologies produce data that support analyses, decision-making processes, and the actions of the agency's personnel in mitigating risks and saving lives.

Keywords: Disasters. Prevention. Risk Management. Occurrences.

Introdução

Este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir os registros do órgão municipal de proteção e defesa civil (OMPDC) de Natal-RN referentes às ameaças e danos ocorridos entre 2013–2025 por conta de incidentes e desastres no município, e descrever o desenvolvimento do sistema web Noah, para propiciar a comunicação entre este órgão e a população e a coordenação das ações de gerenciamento de riscos de desastres (GRD).

O crescimento acelerado da população mundial resultou em uma maior concentração de pessoas em áreas urbanas, frequentemente de forma desorganizada e sem planejamento, gerando novos desafios no GRD.

Segundo o United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), desastre é “uma interrupção grave do funcionamento de uma comunidade ou sociedade em qualquer escala devido a eventos perigosos que interagem com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade, levando a um ou mais dos seguintes: perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais” (UNDRR, 2017). Para Quarantelli in Perry & Quarantelli (2005, p. 343–347), o desastre é um fenômeno social resultante das ações dos seres humanos e de suas sociedades; se não há consequência social, não há desastre. Estima-se que a média de gastos relacionados a perdas causadas por estes eventos chegue a US\$ 260 bilhões em 2015 para US\$ 414 bilhões em 2030, segundo projeções do UNISDR (2019).

Considerando esse contexto, o Sistema Web Noah foi desenvolvido e registrado no ano de 2019 no Instituto Nacional da Propriedade Industrial buscando auxiliar a defesa civil no GRD em Natal, visando, principalmente, à diminuição de perdas materiais e impactos humanos. O sistema, em sua versão atual, está integrado a um projeto de pesquisa mais amplo, com outros núcleos de pesquisas, voltado, especialmente, para as

aplicações técnicas de Inteligência Artificial (IA) no contexto da gestão de riscos de desastres. Contudo, a presente pesquisa tem como recorte principal o sistema Web Noah, que constitui a ramificação do projeto ligada ao apoio das atividades do OMPDC da cidade de Natal.

Este estudo fez-se necessário para aprimorar o sistema web Noah que estava descontinuado desde 2021 em virtude do falecimento de um dos coordenadores do projeto em decorrência da pandemia da COVID-19. Além da reativação, buscou-se incorporar tecnologias atuais que possibilitam melhorias em sua estrutura, alinhando-o às tendências científicas e ampliando sua eficiência no apoio ao GRD Assim, embora inserido em um projeto de escopo maior, este trabalho concentra-se na análise e evolução do sistema Web Noah.

Diante deste contexto, formulou-se a questão norteadora de pesquisa: o desenvolvimento e utilização de um sistema web, através de tecnologias emergentes, como a Inteligência Artificial, pode auxiliar os agentes do OMPDC no GRD, tais como, a tomar melhores decisões, a se comunicar entre si e com a população, e a agir melhor com base em dados produzidos por esta tecnologia?

O objetivo geral do trabalho consiste em analisar e reconstruir o sistema Web Noah, modernizando sua estrutura através de novas tecnologias, de modo a torná-lo mais eficiente no apoio às ações de gestão de riscos e desastres em Natal. Como objetivos específicos, destacam-se: (i) reconstruir as funcionalidades essenciais do sistema; (ii) identificar e mapear as categorias de ocorrências predominantes de perigos ou ameaças, desastres e vistorias, interdições e desinterdições realizadas pelo OMPDC entre os anos de 2013 e 2025 em Natal; (iii) avaliar as ocorrências mais frequentes em determinados períodos e zonas; e (iv) alinhar o desenvolvimento e a visualização dos dados de forma a subsidiar as tomadas de decisão e ações do OMPDC.

Pretende-se, com isto, contribuir com o GRD e com a área de tecnologia de informação e comunicação aplicada ao GRD. Espera-se disponibilizar esta ferramenta ao OMPDC, contribuir para a segurança das populações vulneráveis a desastres e incentivar novas ações no contexto do GRD.

Metodologia

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, por buscar a solução prática de problemas específicos, e de caráter exploratório, por possibilitar maior familiaridade com o objeto estudado, conforme Marconi e Lakatos (2003). O estudo concentra-se na reconstrução do sistema web Noah, por meio da utilização e do mapeamento de novas tecnologias.

Inicialmente, realizou-se o contato com os desenvolvedores anteriores do sistema web Noah para compreender a implementação original do sistema. Foram analisadas o funcionamento e a organização da aplicação. Por meio dessa etapa, foi recuperada uma

versão antiga da aplicação desenvolvida exclusivamente em PHP no backend com uso do Bootstrap para recursos visuais. No entanto, não se teve acesso a dados acerca de como foi estruturado o sistema de banco de dados, o que representou uma limitação considerável para a continuidade do trabalho.

Em sequência, com uma versão de código em mãos, buscou-se compreender como seria possível substituir o banco de dados original atendendo às necessidades funcionais do sistema web Noah. Durante esse processo, foi observada a possibilidade de migração do sistema original Noah, de modo a favorecer a reestruturação e manutenção futura da aplicação.

Dessa forma, optou-se pela adoção do framework Laravel, devido a sua escalabilidade, robustez e facilidade de integração a banco de dados, alinhando-se às boas práticas de engenharia de software, que indicam frameworks modernos como essenciais para a manutenção e evolução contínua do sistema (SOMMERVILLE, 2016). Constatou-se que o framework escolhido não apenas apresenta vantagens em termos de manutenção, mas, em documentação abrangente e a atividade constante da comunidade de desenvolvedores na evolução contínua do sistema (LARAVEL, 2025).

Com a definição do framework, foi feito o uso da estrutura original recuperada do sistema web Noah, por meio das migrations, foi gerado o esquema de atendimento das necessidades essenciais do sistema. As etapas seguintes da pesquisa foram voltadas para o estudo das tecnologias escolhidas e o desenvolvimento de uma nova aplicação Noah, semelhante ao sistema anterior, com foco nas melhorias proporcionadas pelo framework, como o sistema de autenticação e integração ao banco de dados e o uso do Bootstrap atualizado para melhores apresentações.

Com a versão estável do sistema, iniciou-se a etapa seguinte, voltada à obtenção e análise de dados. O contato com gestores e agentes do órgão de proteção e defesa civil municipal foi fundamental nesse momento, pois era necessário compreender melhor as necessidades do cliente e definir o Mínimo Produto Viável (MVP). Essa definição seguiu a abordagem de desenvolvimento ágil de software, conforme proposta por Eric Ries (2011), que descreve o MVP como “a versão do produto que permite uma volta completa do loop Build-Measure-Learn com o mínimo esforço e o menor tempo de desenvolvimento possível”.

Por meio da base de dados cedida pela defesa civil, atuou-se principalmente com o foco de inserir os dados no sistema. No primeiro momento desta etapa, foi realizada a limpeza dos dados originais e a geração de dados de coordenadas genéricas, seguindo as práticas de anonimização dos dados, considerando a segurança dos dados reais, juntamente com a separação dos dados que necessitavam ser apresentados e, também, avaliou-se, definiu-se e planejou-se a melhor forma de exibi-los. Com as informações separadas e organizadas, foi possível desenvolver uma aplicação na linguagem de programação, Python, Noah Dados, que atuou enviando os dados ao endpoint da aplicação responsável por salvar no sistema todas as ocorrências obtidas, do ano de 2013 até março de 2025.

Também, foi criada uma estrutura além do Noah Dados, o Noah Chatbot, um trabalho de extensão integrado ao Projeto Noah, com o objetivo de aprimorar a comunicação

entre a comunidade e a defesa civil. A proposta central consistia em que o sistema web fosse capaz de atender a especificações que permitissem sua integração ao chatbot, disponibilizado no WhatsApp, possibilitando a interação direta com os usuários em situação de risco e o registro automático das ocorrências na aplicação web.

Com os dados das ocorrências anteriores, fornecidos pelo órgão municipal de proteção e defesa civil, foram definidas estratégias para o mapeamento e a visualização das informações no sistema. Inicialmente, com foco principal nos dados, considerando zonas ou regiões geográficas (norte, sul, leste, oeste), categorias de ocorrência, bem como a descrição e o mapeamento dos locais com maior volume de registros ao longo dos períodos analisados.

Para a implementação da visualização dos dados no dashboard do sistema, optou-se pelo uso da biblioteca ApexCharts, integrada ao JavaScript, devido a sua flexibilidade para a criação de gráficos interativos e a sua facilidade de integração a sistemas web. Essa escolha possibilitou a geração de gráficos dinâmicos para a análise de categorias e variações ao longo do tempo. De forma complementar, utilizou-se a biblioteca Leaflet para a construção do mapa de calor, permitindo a identificação das áreas mais críticas quanto ao registro de ocorrências. A adoção dessas bibliotecas segue os princípios de visualização de dados, conforme Tufte (2001) e Evergreen (2019), priorizando clareza, compreensão rápida das informações e suporte à tomada de decisão pelos órgãos competentes.

Dessa forma, a metodologia contemplou a análise do sistema original, a reestruturação do banco de dados e migração para novas tecnologias, assim como a integração do sistema aos novos módulos e implementação de visualizações de dados interativas, garantindo eficiência para com a gestão de riscos de desastres na cidade. Todas as etapas foram conduzidas buscando o cumprimento dos objetivos de atualização e aprimoramento do sistema Web Noah, atendendo às necessidades do órgão municipal de Proteção e Defesa Civil e possibilitando análises fundamentadas nas ocorrências anteriores.

Resultados e Discussões

Nesta seção, apresentaremos os resultados obtidos com o desenvolvimento do sistema Web Noah atrelado aos objetivos que modelaram a presente pesquisa. Os dados, fornecidos pelo órgão de Proteção e Defesa Civil de Natal, apresentados na Figura 1, abrangem o período de 2013 a 2025 e oferecem informações relevantes para compreender a distribuição das ocorrências de vistorias, interdições e desinterdições de setores de riscos na cidade de Natal - RN.

Iniciamos as análises, considerando entender como estão distribuídas estas ocorrências considerando séries temporais. O Figura 1 nos mostra dados relacionados às ocorrências ao longo dos meses de 2024. Quando comparados aos anos anteriores, notou-se um padrão, entre o segundo e terceiro trimestre destes anos, os números de ocorrências registradas apresentaram aumento acentuado.

Observou-se que essa tendência está fortemente associada aos períodos chuvosos da cidade (meses de maio a agosto), evidenciando a relação direta entre situações climáticas e registros da defesa civil.

Os estudos seguintes concentraram-se na observação acerca das zonas mais afetadas pelas ocorrências e quais tipos de eventos estão associados a elas. Verificou-se uma repetição de comportamento, semelhante à análise anterior, na qual, em sua maioria, os registros estavam relacionados à Zona Norte da cidade, onde concentram-se as lagoas de captação de água pluvial que vêm apresentando transbordamentos, inundando vias, domicílios e empresas. Além disso, foi possível notar não apenas a maior concentração de ocorrências, mas, também, que os casos de interdição estavam mais relacionados ao local, como mostrado no Figura 2.

Os dados evidenciam uma maior vulnerabilidade da Zona Norte com 710 registros dos 953 ocorridos no mesmo ano, o que vem se repetindo nos últimos 5 anos, possivelmente associada não apenas às condições climáticas, mas também a fatores de infraestrutura e socioeconômicos. Esse cenário pode sugerir a necessidade de maiores investimentos e ações direcionadas à região, de modo a reduzir as ocorrências.

Seguindo com as análises dos gráficos obtidos, foi gerada uma visualização (Anexo 3) que permitisse entender quais os 10 principais laudos, ordenados de forma decrescente, registrados durante cada ano.

Observa-se na Figura 3 que os tipos mais recorrentes estão associados às Vistorias. Esse resultado reforça a interpretação inicial obtida pela análise da Figura 1, em que os tipos podem estar relacionados a problemas gerados nos períodos chuvosos da região, como o transbordamento de lagoas com cerca de 538 registros, além de problemas relacionados a crateras em vias e alagamentos de imóveis, que, somados, ficam em torno de 61 ocorrências.

Visando entender melhor as dimensões considerando todos os tipos de ocorrências do ano, elaborou-se um TreeMap (Figura 4), desta forma, foi possível entender claramente as proporções e representatividade de cada uma delas. No primeiro trimestre de 2025, observa-se novamente a predominância de vistorias, seguidas por interdições, padrão consistente com os resultados de 2024 (Figura 3).

Entre as vistorias, destacam-se, especialmente, os problemas de infraestrutura urbana, como crateras em vias e alagamentos em imóveis, o que reforça a recorrência de vulnerabilidades já apontadas em períodos anteriores.

Considerando melhor compreender a distribuição das ocorrências por determinadas zonas no ano, elaborou-se um Diagrama de Sankey como mostrado na Figura 5, visando a melhor visualização dos fluxos. A ideia central é que, por meio desse rastreamento, a defesa civil pode não apenas compreender quais locais foram mais afetados, mas, também, propor ações a fim de amenizar os impactos ocasionados, além de realizar atividades preventivas.

A análise do primeiro trimestre de 2025 evidencia um fluxo maior de registros na Zona Norte, tendência que reforça o padrão já observado em 2024 (Figura 2). Esse resultado

sugere a persistência de vulnerabilidades atreladas à região, que demandam medidas para redução das ocorrências recorrentes.

O mapa de calor foi fundamental para visualizar a intensidade dos registros em diferentes regiões. A Figura 6 apresenta a distribuição das ocorrências na cidade de Natal ao longo de 13 anos de dados obtidos, destacando os pontos de maior concentração. Essa visualização fornece subsídios importantes para a Defesa Civil, permitindo identificar áreas prioritárias e planejar ações de forma mais direcionada.

De modo geral, os resultados obtidos apresentam padrões consistentes acerca das ocorrências, especialmente relacionadas às condições climáticas e às características específicas socioeconômicas de cada região. Os dados trazem evidências que fornecem uma base consistente para discussões futuras e para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de monitoramento e intervenção.

Conclusão

Os resultados demonstram a necessidade de ações para fortalecer o gerenciamento de riscos de desastres, abrangendo desde o mapeamento das ocorrências até a capacitação da população sobre como agir em situações de emergência.

O sistema web Noah desenvolvido respondeu à questão de pesquisa formulada, atingiu os objetivos formulados e apresentou boa aceitação por parte dos gestores e agentes do órgão municipal de proteção e defesa civil. Espera-se, como trabalho futuro, expandi-lo para outros órgãos estratégicos, como outros órgãos municipais e estaduais de proteção e defesa civil e a Secretaria de Saúde Pública (Sesap), de modo a ampliar sua aplicabilidade.

Apesar das contribuições obtidas, o presente estudo apresenta limitações acerca da coleta de dados em campo, o que restringe a validação dele em situações reais. Sabendo disto, sugerem-se novas pesquisas que busquem realizar testes aplicados a grupos predefinidos (membros de populações vulneráveis a desastres), de forma a avaliar o desempenho do sistema web Noah em cenários práticos, como, por exemplo, em exercícios simulados com cenário postulado de evacuação de emergência de uma população de um setor de uma localidade afetada por um desastre.

A partir desses experimentos, será possível apresentar melhorias tanto na arquitetura do sistema quanto nos recursos voltados à visualização de dados, como a inclusão de filtros temporais, além de uma reestruturação do banco relacional, assegurando maior eficiência e confiabilidade do sistema web Noah.

Referências

APEXCHARTS. **ApexCharts – Interactive JavaScript Charts for your Website.** Disponível em: <https://apexcharts.com>. Acesso em 21 ago. 2025.

LARAVEL. **Laravel: The PHP Framework for Web Artisans.** Disponível em: <https://laravel.com>. Acesso em: 20 ago. 2025.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

PERRY, R. W; QUARANTELLI, E. L.. **What is a Disaster? New answers to old questions.** USA: IRCD, 2005.

RIES, Eric. **The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses.** New York: Crown Business, 2011.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software.** 10. ed. Pearson, 2016.

TUFTE, Edward R. **The Visual Display of Quantitative Information.** 2. ed. Cheshire: Graphics Press, 2001.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). 2017. **The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction."Disaster"**. Disponível em: <https://www.undrr.org/terminology/disaster>. Acesso em: 20 ago. 2025.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030.** Geneva: UNDRR, 2015. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>. Acesso em: 20 ago. 2025.

Anexos



Figura 1 - Distribuição de Ocorrências por Meses do Ano



Figura 2 - Distribuição de Ocorrências por Zonas



Figura 3 - Tipos de Ocorrências mais Frequentes em 2024



Figura 4 - Distribuição Geral das Ocorrências por Ano



Figura 5 - Fluxo de Ocorrências por Região



Figura 6 - Mapa de Distribuição Geral de Ocorrências em Natal

CÓDIGO: ET0789

AUTOR: TAYRONY GOMES DE ASSIS

ORIENTADOR: GABRIEL IVAN MEDINA TAPIA

TÍTULO: AQUECIMENTO DAS PISCINAS SEMI OLIMPICAS DE UFRN COM ENERGIA SOLAR

Resumo

Para estender o uso de piscinas ao longo do ano, a implementação de sistemas de aquecimento é essencial, garantindo que a água se mantenha em temperaturas agradáveis. No entanto, alcançar essa condição exige uma demanda térmica considerável, o que pode resultar em altos custos operacionais, dependendo do sistema escolhido. Este estudo tem como objetivo analisar um sistema de aquecimento utilizando energia solar em um estudo de caso para piscinas semiolímpicas. Para analisar e comparar o desempenho dos sistemas de aquecimento, as equações pertinentes foram implementadas no software Microsoft Excel para realizar o levantamento das taxas de transferência de calor, a análise e comparar o desempenho do sistema de aquecimento. Os resultados revelaram que os principais mecanismos de perda de calor são evaporação, convecção e radiação. Para a piscina 1 com (375 m²), essas perdas foram de 50,7 kW, 24,0 kW e 26,8 kW, respectivamente, já para a piscina 2 com (300 m²), os valores foram de 40,5 kW, 19,2 kW e 21,5 kW. Após a análise, foi constatado que seriam necessários 52 coletores solar de 1,14 kW cada, para suprir a demanda térmica das piscinas. Em conclusão, o sistema apresenta um excelente desempenho técnico e econômico, suprimindo eficientemente a demanda térmica. Sua adoção representa uma solução viável, com custos operacionais reduzidos sem comprometer o desempenho térmico.

Palavras-chave: aquecimento; piscinas; energia solar; coletor solar.

TITLE: HEATING SEMI-OLYMPIC POOLS AT UFRN WITH SOLAR ENERGY

Abstract

To extend the year-round use of swimming pools, implementing heating systems is essential to maintain comfortable water temperatures. However, achieving this requires considerable thermal demand, which can lead to high operational costs depending on

the chosen system. This study aims to analyze a solar-powered heating system in a case study for semi-Olympic swimming pools. To analyze and compare the performance of heating systems, the relevant equations were implemented in Microsoft Excel software to survey heat transfer rates and analyze and compare the heating system's performance. The results revealed that the main heat loss mechanisms are evaporation, convection, and radiation. For pool 1 (375 m²), these losses were 50.7 kW, 24.0 kW, and 26.8 kW, respectively. For pool 2 (300 m²), the values were 40.5 kW, 19.2 kW, and 21.5 kW. The analysis concluded that 52 solar collectors, each with 1.14 kW of capacity, would be needed to meet the thermal demand of the pools. In conclusion, the system demonstrates excellent technical and economic performance, efficiently meeting the thermal demand. Its adoption represents a viable solution with reduced operational costs without compromising thermal performance.

Keywords: heating; swimming pools; solar energy; solar collector.

Introdução

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024), a matriz energética do Brasil utiliza mais fontes renováveis. Somando lenha e carvão vegetal, derivados da cana-de-açúcar, hidráulica, eólica, solar, entre outras, essas fontes renováveis totalizam 49,1%, quase metade da matriz energética do país. Em contrapartida, é comprovado que as fontes não renováveis de energia são as maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE).

A (EPE), também aponta que a matriz elétrica brasileira é ainda mais renovável do que a energética, isso porque grande parte da energia elétrica no Brasil vem de usinas hidrelétricas. Outro exemplo muito atual é o da energia eólica, uma fonte de energia renovável que vem se desenvolvendo bastante nas últimas décadas, algo que contribuiu para que a matriz elétrica no país continuasse sendo, em sua maior parte, renovável. O estudo da (EPE), também mostra que a matriz elétrica brasileira é baseada em fontes renováveis de energia, ao contrário da matriz elétrica mundial, o que acaba sendo extremamente importante para o Brasil, pois, além de possuírem menores custos de operação, as usinas que geram energia a partir de fontes renováveis em geral emitem consideravelmente menos gases de efeito estufa.

Segundo a Associação Nacional das Empresas e Profissionais de Piscinas (ANAPP, 2024), atualmente o Brasil é o segundo país com mais piscinas instaladas do mundo, com um total de 3,8 milhões de unidades instaladas que fazem parte de um setor que movimenta em torno de R\$ 12 bilhões por ano. A busca por piscinas vem crescendo no Brasil, principalmente nos últimos quatro anos, e, em virtude desse crescimento, o mercado registrou um aumento médio de 18,7% entre os anos de 2020 e 2021. Esse crescimento também significa um aumento nas vendas dos itens associados: a produção de aquecedores solares cresceu cerca de 30% entre 2019 e 2020, enquanto que o de acessórios de limpeza registrou um aumento de 25% no mesmo período. No ano de 2022, aproximadamente 103 mil piscinas foram instaladas no Brasil.

A (ANAPP) também aponta que 73% das piscinas receberam algum sistema de aquecimento, destas, o tipo com coletor solar é utilizado em 55% das unidades. Visando um maior aproveitamento das piscinas ao longo do ano pelos usuários, tornou-se comum a utilização de sistemas de aquecimento com o intuito de garantir a manutenção de uma temperatura agradável da água. Segundo a Federação Internacional

de Natação (FINA), a água da piscina deve ser mantida entre (25 ~ 28 °C) para assegurar uma condição de conforto térmico aos usuários. Para que essa condição do sistema de aquecimento seja satisfeita, uma grande demanda térmica se faz necessária, o que representa um elevado custo de operação, dependendo do sistema de aquecimento. As superfícies das piscinas estão expostas a diversos fenômenos, como a adição e perda de calor, entre esses fenômenos que atuam favorecendo as perdas de calor, pode-se destacar os fenômenos de (evaporação, convecção, condução e radiação). Sendo assim, faz-se necessário o cálculo dessas taxas de perda e de adição de calor, pois, a partir desses cálculos se torna possível realizar o dimensionamento do sistema de aquecimento das piscinas.

Os sistemas mais comumente utilizados são os de aquecedores elétricos, aquecedores a óleo ou a gás, aquecedores solares e bombas de calor. Os sistemas que utilizam (aquecedores elétricos ou aquecedores a óleo ou a gás), além de apresentarem os maiores impactos ambientais, apresentam também um baixo rendimento, o que leva a um elevado consumo de combustível por potência de aquecimento e, portanto, altos custos para operá-los. Os aquecedores solares possuem uma baixa eficiência, no entanto, esta é compensada por um baixo custo de operação.

Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho consiste na análise conduzida a partir do estudo de caso, em posse das informações do local, foi realizado a implementação das equações pertinentes no software Microsoft Excel. Essas equações, foram utilizadas com o objetivo de realizar o levantamento das taxas de transferência de calor associadas as perdas e ganhos, posteriormente foi realizado a análise e comparado o desempenho do sistema de aquecimento considerando a demanda térmica das piscinas. Após essa análise foi realizado o dimensionamento do sistema de aquecimento, especificando a quantidade de equipamentos necessários para suprir a demanda térmica das piscinas.

Resultados e Discussões

A partir dos estudos realizados e da implementação das equações, verifica-se as frações das perdas de calor que apresentam maior influência nas perdas térmicas das piscinas são: evaporação, convecção e radiação. Para a piscina 1 com (375 m²), essas perdas foram de 50,7 kW, 24,0 kW e 26,8 kW, respectivamente, já para a piscina 2 com (300 m²), os valores foram de 40,5 kW, 19,2 kW e 21,5 kW. Outro aspecto crítico a ser analisado é o volume de água que precisaria ser aquecido para atender à demanda térmica em ambas as piscinas, esse volume seria de 91530 L que corresponde a 10,28% do volume total das piscinas.

Conclusão

Ao longo do estudo, verificou-se que o dimensionamento do sistema de aquecimento é influenciado por diversos fatores, tais como as condições climáticas locais, a estrutura física disponível, o perfil de uso das piscinas e a presença de cobertura. Esses fatores impactam diretamente na demanda térmica e, por consequência, na escolha do sistema mais adequado. Portanto, conclui-se que o sistema apresenta um excelente desempenho técnico e econômico, suprimindo eficientemente as demandas térmicas das piscinas. Sua adoção representa uma solução viável, com custos operacionais reduzidos sem comprometer o desempenho térmico.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e água quente - Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro: Abnt - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10339: Piscina Projeto, execução e manutenção. Rio de Janeiro: Abnt - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10818: Qualidade da Água de Piscina - Procedimentos. Rio de Janeiro: Abnt - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15569: Sistema de aquecimento solar de água. Rio de Janeiro: Abnt - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J.. Transferência de Calor e Massa. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

ÇENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. Mecânica dos fluidos fundamentos e aplicações. 1a. ed. Porto Alegre: AMGH, 2006.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. 3a. ed. New Jersey: JohnWiley and Sons, 2006.

FREEMAN, T. L.; MITCHELL, J. W.; AUDIT, T. E. Performance of combined solar-heat pump systems. Solar Energy, v. 22, n. 2, p. 125 – 135, 1979.

FINA, Fédération Internationale de Natation de Amateur –. WORLD AQUATICS CONSTITUTION. 2023. Disponível em: <https://www.worldaquatics.com/rules>. Acesso em: 03 fev. 2025.

HATHEWAY, F. M.; CONVERSE, A. O. Economic comparison of solar assisted heat pumps. *Solar Energy*, v. 27, n. 6, p. 561 – 569, 1981.

HELIOTEK TERMOTECNOLOGIA LTDA (São Paulo). Coletor solar MC3000. 2025. Disponível em: <https://heliotek.com.br/produtos/coletor-solar-mc3000/>. Acesso em: 08 fev. 2025.

KALOGIROU, Soteris A.. *Solar Energy Engineering Processes and Systems*. 2. ed. Kidlington: Elsevier, 2014.

MALUF, Claudio Azer. DESEMPENHO ENERGÉTICO E CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA DE PISCINAS. 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NASCIMENTO, Messias de Paiva. O PANORAMA DO DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. 2023. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

SILVA, Matheus Marques da. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA UMA PISCINA RESIDENCIAL NA SERRA DE MACAÉ. 2018. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2018. SMITH, C.C.; LÜF, G.; JONES, R. Measurement and analysis of evaporation from an inactive outdoor swimming pool. *Solar Energy*, v. 53, n. 1, p. 3-7, 1994.

STARKE, A. R. Uma análise de sistemas de aquecimento de piscinas domésticas através de bombas de calor assistidas por energia solar. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, Santa Catarina, 2013.

CÓDIGO: ET0794

AUTOR: TAYNARA RODRIGUES TAVARES

ORIENTADOR: GABRIEL IVAN MEDINA TAPIA

TÍTULO: ESTUDO DO ARREFECIMENTO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Resumo

A eficiência de conversão da energia solar em eletricidade por sistemas fotovoltaicos (FV) é afetada pelas variações de irradiância e, sobretudo, pelo aumento da temperatura das células, que reduz o rendimento do módulo. Nesse contexto, os sistemas fotovoltaicos térmicos (FV/T) surgem como uma alternativa promissora, ao integrar células solares e um coletor térmico em um único dispositivo, permitindo o resfriamento das células enquanto se aproveita a energia térmica gerada. Este trabalho analisa o desempenho de um módulo FV convertido em sistema híbrido FV/T, considerando as condições climáticas do Rio Grande do Norte. Foram comparados o sistema FV/T e um sistema FV convencional quanto à temperatura das células, potência gerada e rendimento. Os resultados mostram que o sistema FV/T pode alcançar uma produção de energia global até 83% superior, embora o resfriamento não tenha implicado em aumento significativo na geração elétrica. Conclui-se que a principal vantagem do sistema FV/T reside na integração funcional entre geração elétrica e térmica, maximizando o aproveitamento do espectro solar e otimizando o uso do espaço.

Palavras-chave: Energia solar; energia térmica; módulo fotovoltaico; arrefecimento

TITLE: Study of Photovoltaic Module Cooling in Natal (RN)

Abstract

The efficiency of solar energy conversion into electricity by photovoltaic (PV) systems is significantly affected by variations in irradiance and, more critically, by increased cell temperature, which reduces module performance. In this context, photovoltaic/thermal (PV/T) systems emerge as a promising solution by integrating solar cells and a thermal collector into a single device, enabling cell cooling while harnessing thermal energy. This study analyzes the performance of a PV module converted into a hybrid PV/T system under the climatic conditions of Rio Grande do Norte, Brazil. The PV/T system was compared to a conventional PV system in terms of cell temperature, power output, and efficiency. Results indicate that the PV/T system can achieve up to 83% higher overall energy production, although cooling did not lead to a significant increase in electrical output. It is concluded that the main advantage of the PV/T system lies in the

functional integration of thermal and electrical energy generation, maximizing solar spectrum utilization and optimizing space usage.

Keywords: Solar energy; Thermal energy; Photovoltaic module; Cooling

Introdução

A população mundial está crescendo de forma acelerada, resultando em um aumento da demanda por eletricidade. Diante disso, a significativa dependência de combustíveis fósseis, juntamente com as crescentes preocupações sobre a conservação ambiental, impulsiona a pesquisa e o desenvolvimento de fontes alternativas de energia que sejam mais limpas, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental (Sauthier et al., 2017). Entre as fontes alternativas, a energia elétrica das células fotovoltaicas (FV) destaca-se como uma das fontes de energia renováveis mais valiosas, devido à sua natureza gratuita, abundante e limpa. Em um ano, a Terra recebe uma quantidade de energia solar que é aproximadamente dez mil vezes superior ao consumo energético global (Brito, 2013). Esse vasto potencial, aliado ao fato de a energia solar ser uma fonte renovável e não poluente, tem levado a uma crescente implementação de tecnologias solares para a geração de eletricidade. Contudo, apesar de todas as vantagens apresentadas pela geração de energia por meio de células fotovoltaicas, ela apresenta aspectos negativos. Segundo Solanki (2013), a energia solar apresenta alto custo, pois produzir eletricidade usando tecnologia solar FV ainda é mais caro em comparação com fontes de energia convencionais; flutuação de energia e dependência da localização, visto que a geração de eletricidade solar depende da disponibilidade de radiação solar. Além disso, o fator mais limitante para o desenvolvimento dessa tecnologia é que a eficiência da conversão de energia é atualmente baixa. Com isso, torna-se necessário usar técnicas e buscar soluções para extrair a potência máxima desses painéis (Brito, 2013). De acordo com o estudo de Chani et al. (2012), o aumento da temperatura das células FVs, à base de silício cristalino, em 1C° em relação a sua temperatura de referência gera um decréscimo de 0,4 a 0,5% no rendimento de potência produzida. Sendo assim, um sistema de resfriamento da placa poderia permitir que ela operasse em temperaturas mais próximas da temperatura de referência, o que contribuiria para a melhoria de sua eficiência. Nesse contexto, os sistemas fotovoltaicos térmicos oferecem uma abordagem eficaz, pois ele integra células solares e um coletor térmico em um único dispositivo. As células fotovoltaicas convertem a radiação solar em eletricidade, enquanto o coletor térmico acoplado absorve o calor excedente gerado. Esse calor é transferido para um fluido térmico, que, além de resfriar as células e melhorar sua eficiência, gera energia térmica. Esse sistema otimiza o uso do espectro solar, economizando espaço ao combinar a produção de energia térmica e elétrica em uma área menor do que dois sistemas separados (Al-Waeli et al, 2019). Pesquisas sobre sistemas híbridos FV/T mostram resultados promissores. Bahaidarah et al. (2013) observaram um aumento de 9% na eficiência de um sistema resfriado a água, reduzindo a temperatura do módulo em 20% com resfriamento ativo. Zanlorenzi (2017) constatou um aumento de 222,25% no aproveitamento da energia solar com um módulo FV/T em comparação ao módulo original. Tiwari e Sodha (2006) realizaram um estudo experimental para determinar, com base no balanço energético do sistema FV/T, expressões analíticas para as temperaturas do módulo e da água utilizada como resfriador. Seus resultados numéricos diferenciaram-se dos experimentais em cerca de

5%. Com isso, esses modelos numéricos têm sido amplamente utilizados para estudar o desempenho de sistemas híbridos FV resfriados a água. Este trabalho visa aplicar o modelo matemático de Tiwari e Sodha para avaliar a performance de sistemas híbridos FV/T na cidade de Natal (RN). Através da adaptação das expressões analíticas ao contexto climático local, busca-se determinar a eficiência dos sistemas FV/T, avaliando como a temperatura e outras variáveis regionais influenciam o desempenho do sistema.

Metodologia

Com o objetivo de avaliar a performance do sistema fotovoltaico térmico, foi realizada uma comparação entre a eficiência deste sistema e a de um módulo fotovoltaico convencional. Foram analisadas as temperaturas finais dos módulos para avaliar o sistema de arrefecimento, além da potência elétrica gerada, rendimentos, potências globais e potência térmica gerada. Para isso, foram inicialmente coletados os dados climáticos necessários para aplicar o modelo térmico de Tiwari e Sodha (2006), incluindo velocidade do vento, temperatura ambiente e irradiância. Os dados de velocidade do vento e temperatura ambiente foram obtidos através do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia, enquanto a irradiância foi coletada com o software RadiaSol 2, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), conforme apresentado na Fig. 1. O módulo fotovoltaico utilizado foi o modelo AC-325P/156-72S da AXITEC, cujas especificações estão na Tab. 1. As características do coletor de calor foram definidas com base no seu dimensionamento, onde selecionou-se o material cobre para a serpentina e o isolamento foi de EPS. Com os dados coletados, definiu-se o cenário para as simulações das análises, levando em consideração que a temperatura e a irradiância solar afetam diretamente a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Para explorar os resultados em diferentes condições climáticas, foram selecionados três meses representativos: Fevereiro, para representar o verão e as temperaturas mais altas; Julho, como período de inverno com temperaturas mais baixas e maior incidência de chuvas; e Outubro, que é o mês com a maior irradiância solar, conforme mostrado na Fig. 1. Esses meses foram escolhidos para avaliar o desempenho dos sistemas em variadas condições climáticas e obter uma visão abrangente do impacto das mudanças sazonais e da irradiância solar na eficiência do sistema no Rio Grande do Norte. Após isso, iniciou-se a análise do circuito térmico do sistema FV/T desenvolvido por Tiwari e Sodha (Fig. 2). Para aplicar as equações algébricas, foram feitas as seguintes considerações: a temperatura do fluido de entrada é a mesma ao longo do dia sendo a vazão constante; a transferência de calor é considerada unidimensional; considera-se a temperatura média e uniforme para cada camada do módulo FV/T; são desconsideradas as perdas nas tubulações; e A resistência térmica dos vários componentes é independente da temperatura e radiação solar. Para determinar a temperatura da célula FV/T, Tiwari e Sodha utiliza a Eq. 1. Na qual, $(\tau\alpha)$ representa o produto efetivo transmissibilidade (τ) pela absortividade (α), $I(t)$ a irradiância, T_a a temperatura ambiente, U_c o Coeficiente global de transferência de calor da célula FV para o ambiente, através da cobertura, e o U_T o coeficiente global da célula solar para a água através de tedlar e T_{pt} a temperatura da superfície traseira do módulo FV/T. O U_c foi obtido por intermédio de cálculos de resistências termodinâmicas considerando as espessuras do vidro, sua condutividade térmica e o coeficiente de convecção. Os outros coeficientes globais também foram calculados dessa maneira só alterando as propriedades para cada material, com exceção

do UT, que foi retirado de Tiwari e Sodha (2006), pois depende das propriedades do Tedlar, sendo obtido experimentalmente através de processos iterativos. A temperatura T_{pt} calcula-se por meio da Eq. 2. Onde h_{p1} é o fator de penalização que ajusta a irradiância para levar em conta as perdas de transmissão de luz através dos materiais: célula FV, Tedlar e EVA. Por sua vez o U_cT representa o coeficiente global de transferência de calor da cobertura para o Tedlar, através da célula FV e o h_f o coeficiente de convecção interna da água no duto e T_f a temperatura da água no coletor de calor. Duffie e Beckman (2013), definiram a equação para calcular T_f com base no fluxo de massa da água, calor específico da água, temperatura de entrada do fluido, temperatura ambiente, área do trocador de calor, distância entre os tubos da serpentina, diâmetro dos tubos, condutividade térmica, espessura, fator de penalidade e um coeficiente geral de transferência de calor da célula solar para o ambiente através do isolamento traseiro. O coeficiente de convecção h_f foi determinado com base na equação de convecção interna forçada para um escoamento turbulento em aquecimento para as condições de temperatura de entrada de 24°C e vazão de $0,1\text{m/s}$. Para comparar com o sistema sem arrefecimento, calculou-se também a T_{fv} do módulo sem o coletor de calor, conforme a Eq. 3. Onde U_{Ta} representa o coeficiente global de transmissão do calor da célula fotovoltaica para o ambiente através do Tedlar. Após isso, calculou-se as potências térmicas, a qual é obtida a partir das temperaturas, fluxo de massa e calor específico da água, e elétricas que se utiliza a Eq. 4, conforme Schott, (1985). Onde β , I_{mpp} e V_{mpp} estão especificados na Tab. 1. T_c é a temperatura da célula fotovoltaica e T_r é a temperatura de referência, a qual é 22°C para o módulo fotovoltaico em estudo. Com a potência, calculou-se também o rendimento, o qual obtém-se a partir da divisão da Potência pelo produto da área e a Irradiância (Tiwari e Sodha, 2006).

Resultados e Discussões

3.1 Temperatura As Figuras 3, 4 e 5 apresentam os valores das temperaturas dos sistemas FV/T e FV durante os três meses que foi simulado o estudo. É importante ressaltar que os valores climáticos utilizados foram referentes aos horários das 08h às 15h, por ser o período de maior intensidade solar em Natal (RN). Através dos gráficos, observa-se que, em fevereiro, foram registradas as maiores temperaturas para ambos os sistemas fotovoltaicos. Neste mês, o sistema de resfriamento conseguiu reduzir a temperatura da superfície da placa em média em $6,37^\circ\text{C}$. Em julho, a redução foi de $5,2^\circ\text{C}$, e em outubro, a redução média alcançou $7,21^\circ\text{C}$. Esses resultados indicam que, no período de menores temperaturas, a eficiência do resfriamento foi reduzida, resultando em uma diferença de temperatura menor em julho. Além disso, o mês de maior irradiância, outubro, apresentou a maior redução de temperatura, sugerindo que um aumento na irradiância contribui para uma maior eficiência no resfriamento. A variação da temperatura dos módulos ao longo do ano não foi significativa, principalmente devido à pequena amplitude da temperatura ambiente em Natal, que variou entre 21°C e 29°C , como evidenciado no gráfico da Fig. 6. Vale ressaltar que existem outros aspectos que influenciam a eficiência do resfriamento. O coeficiente de convecção da cobertura para o ambiente, que varia com a velocidade do vento, também tem impacto na variação da temperatura. Com base no estudo, o aumento da convecção causa uma redução na temperatura da placa. Observou-se que os maiores coeficientes de convecção para o ambiente foram registrados em outubro, enquanto os menores foram encontrados em julho. Esses fatores adicionais fornecem uma visão mais detalhada das

variáveis envolvidas na eficiência do sistema FV/T. 3.2 Potência Gerada As Figuras 7, 8 e 9 apresentam os valores das potências geradas pelos sistemas FV/T e FV durante os três meses em que foram realizados os cálculos. Em cada gráfico, são representadas as seguintes variáveis: potência térmica, que é a energia térmica gerada pelo sistema FV/T; potência elétrica FV, que é a energia elétrica produzida exclusivamente pelo sistema fotovoltaico convencional; potência elétrica FV/T, que é a energia elétrica gerada pelo sistema híbrido Fotovoltaico/Térmico; e potência global FV/T, que é a soma da potência elétrica e térmica geradas pelo sistema FV/T, fornecendo uma visão completa do desempenho global do sistema. Através dos gráficos, observa-se que a potência elétrica gerada pelos sistemas FV/T e FV é bastante similar. Em fevereiro, o sistema FV/T gerou 1,63% a mais de potência elétrica em comparação ao sistema FV. Em julho, o acréscimo foi de 2,5%, e em outubro, de 3,8%. Esses resultados indicam que a redução de temperatura proporcionada pelo sistema de arrefecimento não foi suficientemente significativa para gerar um aumento notável na potência elétrica. Além disso, a necessidade de bombear o fluido pela serpentina pode resultar em um consumo adicional de energia pela bomba, o que pode reduzir a potência elétrica total do sistema FV/T. Esses resultados são consistentes com o estudo de Rocha (2018), que avaliou experimentalmente as potências geradas por sistemas fotovoltaicos nas condições climáticas do Rio Grande do Sul. A Fig. 10, que apresenta os resultados obtidos por Rocha (2018), mostra que, apesar das variações na velocidade do vento, irradiância e temperatura devido à diferença regional, a potência elétrica adicional gerada pelo sistema FV/T em relação ao FV foi também pequena e a potência elétrica global (PeG) do sistema FV/T é consideravelmente inferior devido ao consumo adicional da bomba. Ao observar-se os gráficos das Fig. 7, 8, 9, nota-se que a potência global do sistema fotovoltaico e térmico (FV/T) é muito superior, sendo, em média, 83% maior do que a potência gerada pelo sistema fotovoltaico convencional (FV). Isso significa que, em termos de produção energética, o sistema FV/T supera o módulo FV. Esse sistema se revela vantajoso especialmente quando há necessidade de energia térmica. Por exemplo, se a energia térmica produzida for utilizada para reduzir o consumo de energia elétrica em aplicações como chuveiros elétricos, essa energia térmica pode ser considerada um ganho adicional de energia elétrica. 3.3 Rendimento Na Figura 11, são apresentados os rendimentos médios dos sistemas para cada mês. Observa-se que os resultados estão alinhados com os valores de potência, com os rendimentos elétricos de ambos os sistemas sendo bastante próximos, embora o rendimento do FV/T seja ligeiramente superior. O maior rendimento foi registrado em julho, com o sistema FV/T apresentando um rendimento global de 28,8%, enquanto o rendimento elétrico do FV/T foi de 16,3%, e o do sistema FV foi de 15,8%.

Conclusão

A análise comparativa entre o sistema fotovoltaico tradicional (FV) e o sistema híbrido fotovoltaico-térmico (FV/T) revelou uma superioridade significativa na produção de energia do sistema FV/T. Embora o sistema FV/T tenha mostrado uma redução média de 6,14°C na temperatura das células em comparação com o sistema FV convencional, o impacto na potência elétrica gerada foi limitado, com um aumento de apenas 3%. No entanto, a produção global de energia pelo sistema FV/T foi notavelmente maior, com um incremento de 83,12% em relação ao sistema FV convencional. Essa superioridade na produção energética global traduz-se em uma maior eficiência e economia. O sistema

FV/T combina a função de módulo fotovoltaico e coletor térmico em uma única estrutura, permitindo um uso mais eficiente do espectro solar e economizando espaço. Esta integração é particularmente vantajosa quando há uma demanda local por energia térmica. Se a energia térmica gerada for utilizada para substituir o consumo de energia elétrica em aplicações como chuveiros elétricos, caldeiras ou até mesmo para aquecer uma piscina, ela pode ser contabilizada como um ganho adicional de energia elétrica. Isso pode resultar em uma melhoria no desempenho elétrico geral do sistema, desde que haja uma necessidade local para a energia térmica produzida. No que diz respeito aos fatores climáticos da região de Natal (RN), observou-se que o sistema FV/T teve um desempenho inferior em fevereiro, durante o verão, com uma produção de energia 2,95% menor do que em julho, no inverno. No entanto, essa variação é relativamente pequena devido às temperaturas relativamente constantes ao longo do ano em Natal, resultando em variações limitadas na potência gerada entre períodos quentes e frios. Por outro lado, no mês com maior irradiância, o sistema FV/T demonstrou um desempenho superior ao do FV, com uma produção de energia elétrica 4% maior. Portanto, embora o sistema FV/T ofereça benefícios na produção global de energia, especialmente em condições de alta irradiância, seu impacto na potência elétrica não foi substancial.

Referências

A. Al-Waeli, H. A. Kazem, M. Chaichan, K. Sopian. "Photovoltaic/thermal (PV/T) systems: principles, design, and applications". 10.1007/978-3-030-27824-3, 2019. Publisher: Springer Nature. H. Bahaidarah, A. Subhan, P. Gandhidasan, e S. Rehman. "Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions", *Energy*, vol. 59, p. 445–453, Setembro 2013. M. A. G. de Brito, L. Galotto, L. P. Sampaio, G. de Azevedo e Melo, e C. A. Canesin, "Evaluation of the Main MPPT Techniques for Photovoltaic Applications", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no 3, p.1156–1167, mar. 2013. J. A. Duffie, W. A. Beckman, "Solar engineering of thermal process", 4th ed. John Wiley & Sons, 2013. F. Ghani, M. Duke, e J. K. Carson, "Effect of flow distribution on the photovoltaic performance of a building integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) collector", *Sol. Energy*, vol. 86, no 5, p. 1518–1530, maio 2012. N. M. M. Rocha, "Estudo do desempenho de um módulo fotovoltaico adaptado para módulo fotovoltaico/térmico", Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Brasil, 2018. L. F. Sauthier, A. T. Diefenthaler, P. S. Sausen, A. T. Z. R. Sausen, M. Campos, G. Walker, "Modelagem matemática de módulos fotovoltaicos empregados em ambientes de simulação de geração distribuída", Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Ijuí, Brasil. C. S. Solanki. *Solar photovoltaic technology and systems: A Manual for Technicians, Trainers and Engineers*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2013. A. Tiwari e M. S. Sodha, "Performance evaluation of solar PV/T system: An experimental validation", *Sol. Energy*, vol. 80, no 7, p. 751–759, jul. 2006. G. Zanlorenzi, A. L. Szejka, T. M. Souza, "Proposta conceitual de um módulo fotovoltaico híbrido com resfriamento por serpentina de água", in 2017 6th International Workshop: Advances in Cleaner Production, 2017, p. 1-10.

Anexos



FIGURA 1



FIGURA 2



FIGURA 3



FIGURAS 4 E 5



FIGURA 6



FIGURAS 7 E 8



FIGURA 9



FIGURA 10



FIGURA 11

CÓDIGO: ET0800

AUTOR: ANA CECILIA DE AZEVEDO CARVALHO

COAUTOR: ANA TERRA DE MEDEIROS FELIPE

ORIENTADOR: KATIA NICOLAU MATSUI

TÍTULO: Potencial Antioxidante da Película Prateada de Café: Ensaios DPPH e ABTS

Resumo

A película prateada do café (PPC), subproduto liberado durante a torra do café, representa uma fonte potencial de compostos bioativos de interesse para a indústria de alimentos, cosméticos e nutracêuticos. Este estudo teve como objetivo avaliar a atividade antioxidante da PPC por meio dos ensaios de DPPH e ABTS, utilizando extração assistida por ultrassom (UAE) seguida da extração convencional. A investigação busca fornecer subsídios para o aproveitamento sustentável da PPC, promovendo a valorização deste resíduo agroindustrial em consonância com os princípios da economia circular.

Palavras-chave: película prateada do café, compostos fenólicos, atividade antioxidante

TITLE: Antioxidant Potential of Coffee Silver Skin: DPPH and ABTS Assays

Abstract

Coffee silverskin (CSS), a by-product released during coffee roasting, represents a potential source of bioactive compounds of interest to the food, cosmetics, and nutraceutical industries. This study aimed to evaluate the antioxidant activity of CSS through DPPH and ABTS assays, using ultrasound-assisted extraction (UAE) followed by conventional extraction. The investigation seeks to provide insights for the sustainable utilization of CSS, promoting the valorization of this agro-industrial residue in line with the principles of the circular economy.

Keywords: coffee silver skin, bioactive, antioxidant activity, ultrasound

Introdução

Na indústria de alimentos e bebidas, a sustentabilidade tem se consolidado como um dos pilares essenciais no desenvolvimento de novos processos e produtos (MOUAT, 2022). Nesse sentido, a geração de resíduos agroindustriais, especialmente aqueles provenientes da cadeia produtiva do café, impõe desafios ambientais que exigem soluções inovadoras (CZEKAŁA et al., 2023). Nesse cenário, a adoção de práticas alinhadas à economia circular tem se mostrado uma alternativa para reduzir desperdícios e agregar valor a subprodutos tradicionalmente descartados (BALDASSARRE; CARRARA, 2024).

A economia circular é um modelo de produção e consumo que visa manter e otimizar os recursos em uso, extraindo deles o máximo de valor antes de recuperar e regenerar produtos e materiais ao fim de sua vida útil (GARRIDO-GAMARRO et al., 2023). Diferente do modelo linear tradicional — extrair, produzir, consumir e descartar —, a economia circular propõe a reutilização, a reciclagem e o reaproveitamento, buscando fechar o ciclo de produção de forma mais eficiente e menos impactante ao meio ambiente (OLABI et al., 2023).

Um exemplo relevante é a PPC, uma fina camada que recobre a camada externa do grão cru e que se desprende durante a torra (NOLASCO et al., 2022). Embora frequentemente considerada um resíduo descartável, estudos recentes para a película têm evidenciado que possui um perfil químico rico em compostos bioativos, como polifenóis, flavonoides e ácidos fenólicos, reconhecidos por suas propriedades antioxidantes (DAUBER et al., 2024). Esses compostos, por sua vez, apresentam potencial aplicação na formulação de alimentos funcionais, cosméticos e produtos nutracêuticos.

Estudos recentes indicam que os métodos de extração dependem fortemente da combinação do solvente, condições térmicas e método aplicado (Inácio et al. 2023), sendo os mais comuns a extração convencional por maceração com solventes hidroalcoólicos, e a extração assistida por ultrassom (UAE), que vem sendo estudada como alternativa tecnológica mais eficiente e ambientalmente amigável, por apresentar maior rendimento de compostos fenólicos em menor tempo de extração (TAWEEKAYUJAN et al., 2023).

A atividade antioxidante desses compostos pode ser quantificada por meio de ensaios espectrofotométricos como DPPH e ABTS, os quais avaliam a capacidade dos extratos em neutralizar radicais livres, atuando como indicadores da funcionalidade biológica dos fenólicos (DONG et al., 2024). Os resultados desses ensaios fornecem informações relevantes sobre o potencial de aplicação dos extratos em diferentes indústrias e auxiliam na comparação entre os métodos de extração quanto à preservação da bioatividade (BRZEZIŃSKA et al., 2023).

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo caracterizar PPC quanto à presença de compostos bioativos, avaliando o seu potencial funcional a partir da aplicação de dois métodos distintos de extração: a extração convencional por maceração e a UAE. A eficiência dos métodos será analisada com base no teor de compostos fenólicos totais e na atividade antioxidante dos extratos, utilizando os ensaios DPPH e ABTS. A partir dos resultados obtidos, pretende-se compreender de forma mais ampla a viabilidade do aproveitamento da PPC como insumo de valor agregado, contribuindo

para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de valorização de resíduos da cadeia do café, em consonância com os princípios da economia circular.

Metodologia

Coleta

A PPC foi cedida pela empresa 3 Corações, localizada em Natal, Rio Grande do Norte, Brasil (Latitude: 5°74'184" S; Longitude: 35°28'778" O), no mês de outubro de 2024. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) para posterior processamento e análises.

Pré-preparo e padronização

As amostras de PPC foram submetidas à secagem em estufa (Lucadema, São Paulo, Brasil) a 50 °C por 6 horas. Em seguida, foram moídas e peneiradas em malha mesh 32, visando à padronização granulométrica do pó obtido, sendo posteriormente, mantidas sob refrigeração e ao abrigo da luz.

Umidade

O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico. Aproximadamente 3 g da amostra foram pesados em cápsulas de porcelana previamente secas e taradas. As amostras foram colocadas em estufa (Lucadema, São Paulo, Brasil) a 105 °C até atingirem peso constante (Adolfo Lutz, 2008).

Atividade de água

A atividade de água foi determinada utilizando um medidor direto equipado com sensor digital (Aqualab S3TE, Decagon, EUA). As amostras foram acondicionadas em cápsulas próprias fornecidas pelo equipamento, garantindo a completa exposição da superfície ao sensor. As cápsulas foram inseridas na câmara de leitura, a qual foi fechada e mantida até que o equilíbrio com o ambiente interno fosse alcançado.

Extração

A extração dos compostos fenólicos foi realizada utilizando etanol como solvente. O procedimento consistiu inicialmente na aplicação de banho ultrassônico (ALTRONIC Clean 3IA, 3 L, São Paulo, Brasil) a 40 kHz e 100 W, sem agitação, durante 15 minutos. Posteriormente, as amostras foram mantidas sob agitação mecânica (SP-10209/A, SP Labor, Brasil) à temperatura ambiente por 45 minutos. A proporção utilizada foi de 2 g de amostra para 100 mL de etanol (1:50 g/mL). Os extratos obtidos foram filtrados a vácuo, armazenados sob refrigeração e protegidos da luz até as análises.

Atividade antioxidante (DPPH)

A capacidade antioxidante foi determinada pelo método do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), conforme descrito por Bobo-García et al. (2014), com adaptações. Uma alíquota de 150 µL de solução metanólica de DPPH (150 µM) foi misturada a 20 µL do extrato. As amostras foram incubadas à temperatura ambiente, no escuro, por 40 minutos, e a absorbância foi medida a 515 nm em um leitor de microplacas (ASYS UVM 340, Biochrom Ltd, Inglaterra).

Atividade antioxidante (ABTS)

A atividade antioxidante também foi determinada pelo método ABTS, conforme descrito por Re et al. (1999), com adaptações. A solução estoque de ABTS (7 mM) foi preparada em tampão fosfato (pH 7,4) e reagiu com persulfato de potássio (2,45 mM) para a formação do radical estável. Antes da análise, a solução foi diluída em etanol até atingir absorvância de $0,70 \pm 0,02$ a 734 nm. Em microplacas de 96 poços, adicionou-se 200 µL da solução de ABTS a 20 µL do extrato, e a mistura foi mantida em repouso à temperatura ambiente. A leitura da absorvância foi realizada em 734 nm (ASYS UVM 340, Biochrom Ltd, Inglaterra).

Análise Estatística

Os experimentos foram conduzidos em triplicata e os resultados expressos como média acompanhada do respectivo desvio padrão. Para as análises referentes ao teor de compostos bioativos e à atividade antioxidante, foram adotadas oito repetições por tratamento.

Resultados e Discussões

Atividade de água (A_w)

A atividade de água (A_w) é um parâmetro fundamental na avaliação da estabilidade microbiológica e do potencial de armazenamento de matrizes alimentares e subprodutos vegetais. No presente estudo, a PPC apresentou valor de atividade de água igual a $0,445 \pm 0,036$, medido a 28,2 °C, utilizando um medidor digital direto (Aqualab S3TE, Decagon, EUA). Esse valor, inferior a 0,6, indica baixa disponibilidade de água livre, o que reduz significativamente o risco de desenvolvimento microbiano e favorece a conservação do material durante o armazenamento. Tais características reforçam a viabilidade do aproveitamento da PPC como ingrediente funcional em formulações de maior estabilidade e vida útil prolongada, contribuindo para o uso seguro e sustentável desse subproduto.

Umidade

A umidade da PPC foi determinada em 7,45%, valor que se encontra dentro do limite considerado seguro para materiais secos destinados ao armazenamento prolongado. Valores de umidade abaixo de 12% são geralmente recomendados para evitar o crescimento de microrganismos e garantir a estabilidade físico-química dos produtos (Molina-Cortés et al., 2022). Essa característica é essencial para a conservação do material, tornando-o um candidato promissor para aplicações em alimentos funcionais, formulações nutracêuticas e desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, onde a estabilidade microbiológica é um requisito fundamental.

Atividade Antioxidante – DPPH

A atividade antioxidante da PPC, avaliada pelo ensaio DPPH, apresentou valor médio de 57,03% de inibição. Esse resultado indica uma capacidade significativa de neutralização de radicais livres, atribuída principalmente à presença de ácidos clorogênicos, derivados do ácido cafeico e outros compostos fenólicos bioativos

presentes na matriz (Dong et al., 2024; Vimercati et al., 2022). Estudos prévios reportaram valores próximos, como $67,8 \pm 1,1\%$ para PPC submetida à extração por ultrassom (Inácio et al., 2023) e 68,9% em extratos de resíduos de café obtidos por UAE (Dong et al., 2024), sugerindo que a metodologia aplicada neste trabalho apresenta eficiência comparável, ainda que levemente inferior. Essa diferença pode estar relacionada a fatores como a proporção solvente/amostra, tempo e intensidade ultrassônica, além da variabilidade intrínseca da composição fenólica da PPC.

Atividade Antioxidante – ABTS

Complementarmente, a capacidade antioxidante foi analisada pelo ensaio ABTS, no qual a PPC apresentou 81,17% de inibição, valor que confirma o elevado potencial bioativo desse subproduto. O desempenho observado está alinhado a estudos recentes que destacam a eficácia do método ABTS em resíduos agroindustriais, como relatado por Brzezińska et al. (2023), que obtiveram 83,1% de inibição, e Dong et al. (2024), que reportaram 79,6% em extratos de café. A forte correlação entre os valores de ABTS e o teor de compostos fenólicos totais evidencia a relevância desses metabólitos secundários para a bioatividade funcional da PPC. Além disso, os resultados corroboram a superior sensibilidade do ABTS em relação ao DPPH, como já descrito em diferentes matrizes vegetais, reforçando a robustez da avaliação empregada.

Implicações Tecnológicas e Sustentáveis

Os resultados obtidos evidenciam que a PPC possui potencial como fonte de compostos fenólicos com atividade antioxidante. A eficiência do método UAE sugere sua aplicação como alternativa tecnológica promissora, com vantagens quanto ao tempo, ao rendimento e à sustentabilidade do processo quando associado à extração convencional.

Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo reforçam o potencial da película prateada do café (PPC) como uma fonte promissora de compostos bioativos, com destaque para a atividade antioxidante observada nos ensaios DPPH e ABTS. Os métodos de extração mostraram que a aplicação da extração assistida por ultrassom (UAE), associada à extração convencional, se mostrou eficiente na recuperação de compostos de interesse.

Além disso, a atividade antioxidante observada nos extratos destaca a aplicabilidade da PPC em diferentes áreas, como formulações alimentícias, cosméticas e nutraceuticas, agregando valor a um resíduo tradicionalmente descartado. A baixa atividade de água e o teor reduzido de umidade favorecem a estabilidade microbiológica e prolongam o tempo de armazenamento, ampliando sua viabilidade de aplicação em escala industrial.

Dessa forma, a valorização da PPC contribui de maneira significativa para a sustentabilidade da cadeia produtiva do café, promovendo práticas alinhadas à bioeconomia e à economia circular. O reaproveitamento desse subproduto evidencia não

apenas o potencial tecnológico e funcional, mas também representa uma estratégia inovadora e ambientalmente responsável para o aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Referências

BALDASSARRE, B.; CARRARA, S. Critical raw materials, circular economy, sustainable development: EU policy reflections for future research and innovation. *Resources Conservation and Recycling*, v. 215, p. 108060–108060, 13 dez. 2024.

BOBO-GARCÍA, Gloria et al. Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 95, n. 1, p. 204-209, 2015.

BRZEZIŃSKA, R. et al. Application of Response Surface Methodology to Optimize the Extraction Process of Bioactive Compounds Obtained from Coffee Silverskin. *Applied sciences*, v. 13, n. 9, p. 5388–5388, 26 abr. 2023.

CZEKAŁA, W. et al. Waste-to-energy: Biogas potential of waste from coffee production and consumption. *Energy*, v. 276, p. 127604, 1 ago. 2023.

DAUBER, C. et al. Cookies enriched with coffee silverskin powder and coffee silverskin ultrasound extract to enhance fiber content and antioxidant properties. *Applied Food Research*, v. 4, n. 1, p. 100373, jun. 2024.

DONG, Y. et al. Optimization of subcritical water extraction and functional property assessment of coffee silverskin extract: potential application in cosmetic emulsion. *Foods*, Basel, v. 13, n. 8, p. 1230, 2024.

GARCIA-SARAVIA ORTIZ-DE-MONTELLANO, Cris; SAMANI, Pouya; VAN DER MEER, Yvonne. How can the circular economy support the advancement of the Sustainable Development Goals (SDGs)? A comprehensive analysis. *Journal of Cleaner Production*, [S.l.], v. 395, 2024. Art. 139440.

GARRIDO-GAMARRO, Santiago et al. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from coffee silverskin: Process optimization and evaluation of antioxidant activity. *Current Research in Food Science*, [S.l.], v. 6, p. 100547, 2023.

INÁCIO, R. S. et al. Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from coffee silverskin: A sustainable approach for food applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, [S. l.], v. 103, n. 2, p. 661–670, 2023.

Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008.

JIRARAT, W. et al. Sustainable Valorization of Coffee Silverskin: Extraction of Phenolic Compounds and Proteins for Enzymatic Production of Bioactive Peptides. *Foods*, v. 13, n. 8, p. 1230, 17 abr. 2024.

LAWAG, I. L.; NOLDEN, E. S.; SCHAPER, A. A. M.; LIM, L. Y.; LOCHER, C. A. Modified Folin-Ciocalteu Assay for the Determination of Total Phenolics Content in Honey. *Applied Sciences*, Basel, v. 13, n. 4, p. 2135, 2023.

MOLINA-CORTÉS, A.; RUIZ-RAMÍREZ, J.; PÉREZ-RAMÍREZ, I. Microbiological and physicochemical stability of food industry by-products under different drying methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 46, n. 1, e16180, 2022.

NOLASCO, A. et al. Valorization of coffee industry wastes: Comprehensive physicochemical characterization of coffee silverskin and multipurpose recycling applications. *Journal of Cleaner Production*, v. 370, p. 133520, out. 2022.

OLABI, A. G. et al. Role of microalgae in achieving sustainable development goals and circular economy. *Science of The Total Environment*, v. 854, p. 158689, jan. 2023.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 26, n. 9-10, p. 1231–1237, 1999.

TAWEEKAYUJAN, S.; SOMNGAM, S.; PINNARAT, T. Optimization and kinetics modeling of phenolics extraction from coffee silverskin in deep eutectic solvent using ultrasound-assisted extraction. *Heliyon*, v. 9, n. 7, p. e17942, jul. 2023.

CÓDIGO: ET0802

AUTOR: MARCOS VINICIUS GOMES DA CRUZ

ORIENTADOR: SANDRA RUFINO SANTOS

TÍTULO: TECNOLOGIAS SOCIAIS AGROECOLÓGICAS PARA A
AGRICULTURA FAMILIAR NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Resumo

O semiárido brasileiro, historicamente associado à escassez e à vulnerabilidade, tem sido reinterpretado a partir do paradigma da convivência, que valoriza potencialidades locais e é articulado a partir da Tecnologia Social. Nesse contexto, a agricultura familiar assume papel estratégico, especialmente quando articulada à agroecologia, favorecendo a segurança alimentar, conservação ambiental e fortalecimento comunitário. Este artigo tem como objetivo analisar experiências de tecnologias sociais agroecológicas aplicadas à agricultura familiar no semiárido nordestino, destacando seus impactos e desafios. Para isso, foi realizada uma revisão integrativa da literatura, com base em artigos, teses, dissertações e relatórios técnicos, selecionados em bases científicas e na chamada literatura cinzenta. A análise reuniu 32 produções que evidenciam práticas diversas de cultivo adaptado, manejo sustentável e organização sociocomunitária. Os resultados apontam que as tecnologias contribuem para a diversificação alimentar, conservação da agrobiodiversidade, recuperação de ecossistemas, geração de renda e fortalecimento de redes de cooperação. Contudo, enfrentam desafios relevantes, como acesso limitado a assistência técnica, descontinuidade de programas de fomento, custos logísticos, necessidade de mão de obra coletiva, pressões regulatórias e ausência de políticas específicas.

Palavras-chave: Tecnologia Social. Agricultura Familiar. Agroecologia. Semiárido.

TITLE: AGROECOLOGICAL SOCIAL TECHNOLOGIES FOR FAMILY
FARMING IN THE SEMI-ARID NORTHEASTERN REGION

Abstract

The Brazilian semiarid region, historically associated with scarcity and vulnerability, has been reinterpreted through the paradigm of coexistence, which values local potential and is articulated through Social Technology. In this context, family farming plays a strategic role, especially when combined with agroecology, promoting food security, environmental conservation, and community strengthening. This article aims to analyze experiences of agroecological social technologies applied to family farming in the semiarid region of the Northeast, highlighting their impacts and challenges. To this end, an integrative literature review was conducted, based on articles, theses, dissertations, and technical reports selected from scientific sources and from so-called gray literature. The analysis brought together 32 publications that highlight diverse practices of adapted cultivation, sustainable management, and socio-community organization. The results indicate that these technologies contribute to food diversification, agrobiodiversity conservation, ecosystem recovery, income generation, and strengthening of cooperation networks. However, they face significant challenges, such as limited access to technical assistance, discontinuity of development programs, logistical costs, the need for collective labor, regulatory pressures, and the absence of specific policies.

Keywords: Social Technology. Family Farming. Agroecology. Semi-arid Region.

Introdução

O semiárido brasileiro constitui um território de contrastes, marcado por uma diversidade sociocultural e ambiental que o torna único no cenário nacional. Reconhecido como uma das maiores regiões semiáridas povoadas do mundo, abrange uma área de 1.318.750 km² e compreende 1.477 municípios (IBGE, 2022). Esta vasta extensão territorial, predominantemente localizada no Nordeste do país, é marcada por condições climáticas adversas, como a elevada variabilidade pluviométrica, fator que, somado aos baixos índices anuais de precipitação, contribui diretamente para a recorrência das secas; solos rasos e elevada taxa de evapotranspiração, que impactam diretamente os modos de vida locais e os sistemas produtivos, sobretudo os ligados à agricultura (Silva et al., 2010). Essa combinação de fatores naturais, somada a processos históricos de concentração fundiária, desigualdade social e dependência de políticas assistencialistas, conformou durante décadas uma visão reducionista do semiárido como espaço de carência e inviabilidade produtiva.

A partir da década de 1990, entretanto, emergiu no Brasil um novo paradigma para pensar esse território, pautado na noção de “convivência com o semiárido”. Em oposição ao discurso de combate à seca, que historicamente reforçava práticas clientelistas e obras estruturantes de caráter emergencial, a convivência propõe reconhecer as potencialidades do bioma e das comunidades locais, valorizando estratégias sustentáveis de manejo da água, do solo e da biodiversidade (Silva, 2003). Nesse contexto, organizações da sociedade civil, redes comunitárias e movimentos sociais assumiram protagonismo, estruturando iniciativas que aliam saberes tradicionais a inovações tecnológicas adaptadas à realidade da região.

É nessa perspectiva que se insere a noção de Tecnologia Social (TS), compreendida como um conjunto de metodologias, produtos e processos construídos coletivamente, voltados à inclusão social e à melhoria de condições de vida (ITS, 2004). As tecnologias sociais, assim, não se limitam a soluções técnicas, pelo contrário, incorporam em seu desenvolvimento dimensões educativas, organizacionais e políticas, estimulando processos de empoderamento comunitário. Exemplos importantes incluem as cisternas de placas para captação de água de chuva, os sistemas agroecológicos de produção de alimentos, os biodigestores para aproveitamento de resíduos e experiências de comercialização solidária. Essas tecnologias, fortalecem a resiliência climática das comunidades e, simultaneamente, ampliam a capacidade de participação social e de incidência política das populações locais.

A agricultura familiar ocupa posição central nesse processo. De acordo com o último Censo Agropecuário, a maior parte dos estabelecimentos rurais enquadra-se na tipologia da agricultura familiar, confirmando sua relevância como base da produção de alimentos, da geração de trabalho e da manutenção dos vínculos territoriais (IBGE, 2017). Apesar disso, enfrenta severas restrições relacionadas ao acesso à terra, crédito, assistência técnica e infraestrutura hídrica. As tecnologias sociais agroecológicas têm se mostrado ferramentas estratégicas para superar parte dessas limitações, permitindo que agricultores e agricultoras familiares desenvolvam práticas sustentáveis, diversificadas e compatíveis com as condições edafoclimáticas locais. Além de contribuir para a segurança hídrica, alimentar e nutricional, estimulam a autonomia produtiva, fortalecem as redes de economia solidária e reduzem a vulnerabilidade das famílias diante das mudanças climáticas.

Diante desse cenário, torna-se fundamental sistematizar e analisar criticamente o conjunto de experiências já consolidadas, de modo a compreender seus padrões, impactos e desafios. Este trabalho, portanto, apresenta uma revisão integrativa da literatura sobre tecnologias sociais agroecológicas desenvolvidas no contexto da agricultura familiar no semiárido nordestino.

Metodologia

A revisão integrativa proposta neste trabalho constitui um aprofundamento metodológico de uma revisão sistemática mais ampla, realizada previamente, que mapeou de forma geral as tecnologias sociais desenvolvidas no semiárido nordestino. A opção pela revisão integrativa se justifica por sua capacidade de reunir, analisar e sintetizar o conhecimento já produzido, permitindo não apenas a identificação de lacunas de pesquisa, mas também a incorporação da aplicabilidade dos resultados para subsidiar ações práticas em territórios vulneráveis (Souza, Silva e Carvalho, 2010). Nesse sentido, trata-se de um recorte temático e analítico que busca selecionar e discutir, de maneira mais direcionada, experiências vinculadas à agroecologia e à agricultura familiar, compreendidas como matrizes fundamentais de resistência e inovação socioambiental no contexto semiárido.

A principal diferença em relação à revisão sistemática inicial reside na adoção de uma etapa adicional de filtragem do corpus, na qual os estudos previamente identificados serão

reanalizados a fim de selecionar exclusivamente aqueles que abordam tecnologias sociais de matriz agroecológica ou associadas a práticas da agricultura familiar. Essa delimitação temática se mostra relevante por considerar tanto experiências voltadas à produção e segurança alimentar quanto práticas de manejo sustentável dos recursos naturais, dimensões centrais para a construção da resiliência socioambiental e para a promoção de estratégias de convivência com o semiárido.

O processo de coleta de dados manteve as mesmas bases de busca utilizadas na revisão sistemática anterior, de modo a assegurar consistência e comparabilidade entre as etapas investigativas. Foram empregadas, portanto, as plataformas Web of Science, SciELO, BDTD, Portal de Periódicos CAPES e Google Acadêmico, preservando-se a inclusão da literatura cinzenta, como teses, dissertações, relatórios técnicos e anais de eventos, em função da relevância que tais documentos possuem para registrar experiências locais e práticas comunitárias que frequentemente não alcançam a circulação em periódicos científicos indexados, mas que constituem material de grande valor empírico e teórico para compreender a realidade do semiárido. A relação entre os trabalhos, as bases e as etapas metodológicas estão organizados na Figura 1.

Os critérios de elegibilidade e exclusão adotados também foram mantidos em consonância com a revisão sistemática maior. Para inclusão, consideraram-se trabalhos acadêmicos que abordassem tecnologias sociais desenvolvidas especificamente no semiárido nordestino, com descrição de experiências concretas, análises de impactos sociais, ambientais ou econômicos, além da explicitação de limitações e potencialidades. Foram excluídos documentos duplicados, estudos relacionados a tecnologias sociais implementadas em outras regiões do país, textos desprovidos de fundamentação empírica e produções de caráter excessivamente genérico, que não permitissem a identificação territorial de sua aplicação.

Contudo, este recorte introduziu um filtro adicional: foram incluídos apenas estudos que descrevessem ou analisassem tecnologias sociais relacionadas à agroecologia e voltadas à agricultura familiar. Excluíram-se, portanto, iniciativas voltadas exclusivamente para contextos urbanos ou aquelas centradas unicamente em temáticas de saneamento. Cabe destacar que, embora tecnologias de saneamento rural sejam reconhecidas por sua importância estratégica, estas integram o escopo de outra linha de investigação conduzida paralelamente, razão pela qual não foram incorporadas ao presente estudo. Além disso, ainda que a gestão e manejo da água esteja presente em grande parte das iniciativas analisadas, o foco deste recorte recaiu sobre as experiências de gestão da terra, simbolicamente associadas à posse familiar, à economia solidária e à reprodução social das famílias agricultoras do semiárido.

Resultados e Discussões

Agricultura familiar e agroecologia

A agricultura familiar, enquanto categoria social e produtiva, consolidou-se no Brasil a partir da década de 1990, momento em que fatores políticos, sociais e intelectuais

convergir para o seu reconhecimento institucional e científico. A criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e a crescente mobilização dos movimentos sindicais rurais, como a Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura (CONTAG) e a Federação dos Trabalhadores na Agricultura Familiar (FETRAF), contribuíram decisivamente para conferir visibilidade e legitimidade a esse segmento (Altafin, 2007). Longe de representar uma novidade histórica, a agricultura familiar agrega formas de organização do trabalho e da produção que, em diferentes períodos, receberam outras denominações, variando conforme o contexto regional e a formação histórico-social. Seu reconhecimento recente decorre, em parte, da capacidade de articular trabalho, gestão e propriedade sob controle familiar, estabelecendo vínculos complexos com os mercados e com as políticas públicas.

Do ponto de vista analítico, a agricultura familiar não deve ser compreendida de forma homogênea. Trata-se de um universo marcado por diversidade interna, que se expressa na coexistência de múltiplas estratégias produtivas, níveis diferenciados de integração ao mercado e variadas formas de manejo dos recursos naturais. Conforme argumenta Ploeg (2009), é necessário distinguir entre diferentes modos de produção no interior da agricultura familiar, em especial a forma camponesa e a forma empresarial. A primeira caracteriza-se por uma base de recursos parcialmente mercantilizada, dependente de processos de co-produção entre sociedade e natureza, e voltada à manutenção da autonomia produtiva. Já a segunda se estrutura sobre uma elevada mercantilização dos fatores de produção, incorporando tecnologias externas e padrões de gestão alinhados à lógica empresarial. Essa diferenciação permite compreender as transformações históricas no meio rural e também o fenômeno da recampesinização.

Nesse contexto, a agroecologia dialoga de forma estreita com a agricultura familiar, especialmente em territórios de elevada vulnerabilidade socioambiental, como o semiárido brasileiro. A agroecologia pode ser definida como um campo interdisciplinar que integra ciência, prática e movimento social, orientado para o estudo, o desenho e o manejo de agroecossistemas sustentáveis (Altieri, 2012; Gliessman, 2015). Enquanto ciência, baseia-se na aplicação de princípios ecológicos ao manejo dos sistemas agrícolas, analisando as interações entre solo, água, plantas, animais e seres humanos de forma sistêmica. Como prática, envolve a adoção de técnicas e arranjos produtivos que conservam e regeneram os recursos naturais, priorizam a diversidade biológica e reduzem a dependência de insumos externos. E, como movimento social, articula agricultores, organizações da sociedade civil, pesquisadores e consumidores em torno de um projeto político que busca transformar os sistemas alimentares, promovendo a soberania e a segurança alimentar e nutricional.

O processo de construção agroecológica caracteriza-se por ser participativo e contextualizado. Diferentemente da transferência linear de tecnologia típica da Revolução Verde, a agroecologia opera a partir do diálogo de saberes, no qual conhecimentos tradicionais acumulados pelas comunidades rurais são articulados com avanços técnico-científicos para gerar soluções adaptadas às condições locais (Caporal; Costabeber, 2004). Portanto, a agroecologia alinha-se ao desenvolvimento rural e integra dimensões ecológicas, econômicas, sociais e culturais, articulando produção, conservação ambiental e justiça social. No caso da agricultura familiar do semiárido, sua implementação representa tanto um caminho para a sustentabilidade produtiva quanto uma estratégia de

resistência e transformação frente às desigualdades históricas e aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Conforme o descrito, a consolidação de estratégias sustentáveis de convivência com o semiárido, nessa interseção, passa pelo reconhecimento da diversidade interna da agricultura familiar, pela valorização das práticas agroecológicas e pela construção de políticas públicas que integrem produção, conservação ambiental e desenvolvimento territorial, em consonância com os princípios de autonomia e resiliência defendidos pelos autores analisados. Nesse cenário, muitas dessas práticas configuram-se como TS, pois resultam de processos coletivos de inovação social que articulam saberes populares e conhecimentos técnico-científicos para resolver problemas concretos do território. Essa perspectiva fundamenta a análise apresentada a seguir, na qual se discutem os resultados do mapeamento das tecnologias sociais agroecológicas direcionadas à agricultura familiar no semiárido, evidenciando seus impactos, desafios e potencialidades.

Resultados quantitativos:

A análise do corpus da revisão integrativa evidenciou uma distribuição geográfica diversificada das produções, abrangendo diferentes estados do Semiárido brasileiro. O Ceará concentrou 40,6% dos trabalhos identificados, seguido pela Bahia com 15,6% e pelo Rio Grande do Norte com 12,5%. A Paraíba representou 9,4% das produções, enquanto Pernambuco respondeu por 6,3%. Já Alagoas e Maranhão registraram 3,1% cada. Um conjunto classificado como “Vários” (9,4%) correspondeu a estudos que contemplaram simultaneamente mais de um estado ou recortes regionais amplos, sem delimitação exclusiva a um território específico do nordeste. Essa distribuição ilustra a abrangência territorial das pesquisas e pode ser visualizada na Figura 2, refletindo diferentes contextos de produção e registro de experiências no âmbito das tecnologias sociais agroecológicas.

Em relação às fontes utilizadas para a composição do corpus, verifica-se, na Figura 3, uma predominância de trabalhos identificados por meio de busca na plataforma Google Acadêmico, que respondeu por 46,9% do total. Esse resultado reflete a importância da literatura cinzenta, como relatórios técnicos, documentos institucionais e publicações de organizações não governamentais, no registro de experiências concretas que, por vezes, não estão indexadas em bases acadêmicas tradicionais. Em contraponto, o Portal de Periódicos da CAPES foi responsável por 31,3% das produções, sinalizando a relevância da literatura científica revisada na consolidação conceitual e metodológica da área. A Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) contribuiu com 15,6% dos documentos, reforçando o papel dos trabalhos acadêmicos de pós-graduação como fonte de conhecimento aprofundado e de sistematização de experiências. Já a SciELO-Brasil respondeu por 6,3%, representando uma fração menor, mas ainda relevante, especialmente considerando seu rigor editorial e alcance na disseminação de estudos voltados a políticas públicas e desenvolvimento regional.

Essa caracterização permite compreender que, embora haja forte produção científica e acadêmica sobre o tema, uma parcela expressiva do conhecimento circula fora dos canais convencionais de indexação, o que reforça a importância de estratégias de busca diversificadas para captar a amplitude e a riqueza das experiências em curso no Semiárido brasileiro. Além disso, a concentração geográfica observada sugere que a difusão de

determinadas tecnologias sociais pode estar fortemente vinculada a contextos institucionais, aspecto que pode ser melhor observado em pesquisas futuras.

Discussão:

A revisão integrativa realizada reuniu trinta e duas produções acadêmicas e técnicas, incluindo artigos publicados em periódicos científicos, dissertações, teses, resumos expandidos e relatórios, que documentam um conjunto expressivo de tecnologias sociais de base agroecológica vinculadas à agricultura familiar no Semiárido brasileiro. Embora diversas em sua forma, escala e metodologia, essas experiências contribuem para a convivência com o semiárido, articulando práticas produtivas e organizativas às condições edafoclimáticas e socioculturais dos territórios. O mapeamento permitiu organizá-las em três grandes eixos interdependentes: (1) sistemas de cultivo adaptados, (2) estratégias de manejo ecológico e restauração produtiva e (3) tecnologias voltadas ao fortalecimento sociocomunitário que, mais do que categorias estanques, expressam dimensões complementares de um mesmo processo de transformação socioambiental.

No campo dos sistemas de cultivo adaptados, observou-se a predominância de arranjos produtivos que otimizam o uso da terra e da água em pequena escala, garantindo diversidade alimentar e resiliência produtiva. Os quintais produtivos se destacam como espaços multifuncionais, localizados no entorno das residências, onde se combinam hortaliças, frutíferas, plantas medicinais e criações de pequeno porte, assegurando suprimento contínuo de alimentos frescos e variados, diminuindo a dependência de compras externas e fortalecendo a soberania alimentar das famílias. Sua implantação e manejo se apoiam em práticas de baixo custo, como o uso de compostagem caseira, irrigação por gotejamento de baixo volume e cultivo de variedades crioulas resistentes à seca. Os canteiros econômicos e inteligentes irrigados, por sua vez, introduzem soluções construtivas simples, com materiais reaproveitados e sistemas de irrigação que reaproveitam águas cinzas, garantindo produção mesmo durante estiagens prolongadas. Experiências mais complexas, como o Sistema de Produção Agroecológica Integrado e Sustentável (PAIS), estruturam-se em canteiros circulares ao redor de um núcleo de criação de pequenos animais, com aproveitamento dos dejetos na adubação e fechamento de ciclos produtivos. O Projeto Mandalla, em lógica semelhante, associa cultivo agrícola, criação animal e reservatórios de água em um desenho circular e modular, que facilita o manejo e promove o uso racional da água. Esses arranjos têm produzido impactos consistentes, como diversificação alimentar, geração de excedentes comercializáveis, fortalecimento dos saberes locais e otimização do uso hídrico, mas enfrentam desafios que incluem limitações no acesso à água em períodos críticos, dependência de assistência técnica para manejo aprimorado e vulnerabilidade a cortes nos programas de fomento que financiam sua implantação e manutenção.

As estratégias de manejo ecológico e restauração produtiva compreendem tecnologias voltadas à regeneração de recursos naturais, preservação de bens comuns e melhoria da base produtiva, sempre com enfoque de baixo impacto ambiental. A rochagem, que consiste no uso de pó de rocha como remineralizador, substitui insumos químicos, melhora a fertilidade do solo a longo prazo e estimula a microbiota, resultando em incrementos produtivos duradouros; contudo, sua adoção é dificultada em áreas sem infraestrutura logística para transporte do material. A recuperação de nascentes, amplamente praticada por comunidades quilombolas e grupos de agricultores familiares,

alia reflorestamento com espécies nativas, técnicas de contenção de erosão e educação ambiental, promovendo não apenas benefícios hidrológicos, mas também a valorização da água como patrimônio coletivo e a mobilização comunitária em torno de sua proteção. Práticas estruturais como as barraginhas (pequenas bacias escavadas para retenção de águas pluviais) favorecem a recarga do lençol freático e reduzem erosão, enquanto os cordões de contorno, dispostos transversalmente à inclinação do terreno, controlam a velocidade do escoamento superficial e retêm sedimentos. Experiências de sistemas agroflorestais adaptados ao semiárido, que integram culturas agrícolas, espécies arbóreas e criação animal, demonstram a viabilidade de recuperar áreas degradadas, aumentar a biodiversidade e fornecer múltiplos produtos, desde frutas e hortaliças até madeira para uso comunitário. Complementarmente, tecnologias de captação de água de chuva para uso produtivo, como cisternas-calçadão e barreiros-trincheira, asseguram o abastecimento hídrico para irrigação e dessedentação animal em períodos críticos. Essas iniciativas têm gerado impactos significativos, como a melhoria da qualidade e fertilidade do solo, o aumento da infiltração e armazenamento de água, a recuperação de áreas degradadas e a redução da dependência de insumos externos. Ainda assim, esbarram em desafios como a necessidade de mão de obra coletiva para execução e manutenção, a carência de recursos para acompanhamento técnico contínuo e a pressão exercida pelo uso intensivo da terra.

Por fim, as tecnologias voltadas ao fortalecimento sociocomunitário incorporam simultaneamente dimensões produtivas, organizacionais e culturais, consolidando redes de cooperação e fortalecendo a autonomia das comunidades. As casas e bancos comunitários de sementes desempenham papel estratégico na conservação da agrobiodiversidade, garantindo acesso a variedades crioulas adaptadas ao semiárido e servindo como espaços de articulação política e troca de conhecimentos. A meliponicultura comunitária, baseada na criação de abelhas nativas sem ferrão, oferece geração de renda com mel e derivados, promove a polinização das culturas agrícolas e integra ações de educação ambiental, mas depende fortemente de políticas de apoio à comercialização e de manejo sanitário para prevenção de doenças nas colônias. As Comunidades que Sustentam a Agricultura (CSA) representam uma inovação nas relações de mercado, estabelecendo compromissos diretos e solidários entre agricultores e consumidores, garantindo renda previsível e aproximando o campo da cidade. Essas tecnologias têm se mostrado capazes de conservar recursos genéticos, fortalecer identidades culturais, diversificar e ampliar as fontes de renda e reforçar o capital social, mas também enfrentam entraves, como pressões regulatórias sobre sementes crioulas, necessidade de engajamento contínuo de consumidores e riscos sanitários em atividades produtivas específicas.

A análise integrada desses três eixos evidencia que, embora as tecnologias apresentem grande potencial de transformação socioambiental, sua replicabilidade e sustentabilidade dependem de condições que extrapolam a dimensão técnica, abrangendo fatores organizativos, culturais e institucionais. O Quadro 1 sintetiza os impactos e desafios identificados para cada grupo de tecnologias.

Conclusão

A revisão integrativa permitiu reunir e analisar um conjunto diverso de experiências em tecnologias sociais agroecológicas desenvolvidas no semiárido nordestino. A partir de trinta e duas produções acadêmicas e técnicas, foi possível mapear práticas que redesenham as relações sociais e produtivas, ancorando-as na solidariedade, no conhecimento compartilhado e na autonomia comunitária.

Ao organizá-las em três eixos, evidenciou-se que o êxito dessas práticas reside na capacidade de articular técnica e cultura, ciência e tradição, produção e cuidado. Pode-se imaginar como sementes de transformação que germinam quando há enraizamento nas condições locais e irrigação contínua de apoio político, técnico e institucional. Seus frutos são visíveis na diversificação alimentar que garante segurança e qualidade nutricional, na conservação da agrobiodiversidade que preserva a memória genética dos territórios, na recuperação de ecossistemas degradados que devolve vitalidade ao solo e às águas, na geração de renda que sustenta a permanência digna no campo e no fortalecimento de redes de cooperação que tecem solidariedade e ampliam a autonomia das comunidades. Entretanto, essas sementes nem sempre encontram o solo fértil que merecem. A intermitência das políticas públicas, as barreiras logísticas, a pressão de mercados excludentes e a ausência de assistência técnica consistente ainda limitam a expansão e a consolidação dessas iniciativas.

No campo acadêmico, sugere-se que novas pesquisas aprofundem a análise longitudinal dos impactos dessas tecnologias, investigando também seus efeitos de médio e longo prazo sobre a resiliência socioambiental e econômica das comunidades. Além disso, há espaço para ampliar investigações sobre a integração dessas tecnologias a cadeias curtas de comercialização e mercados institucionais, bem como sobre sua contribuição para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

Para além de um inventário de práticas, este estudo aponta para um horizonte ético e político: o da convivência com o semiárido como projeto coletivo, no qual cada cisterna, cada banco de sementes e cada quintal produtivo são atos de resistência frente à desertificação não apenas ecológica, mas também social e cultural. É preciso compreender que, assim como a caatinga se reveste de verde após as primeiras chuvas, as comunidades também florescem quando recebem as condições mínimas para expressar sua potência.

Que os resultados aqui sistematizados sirvam como base para novos estudos ou programas, e seja reconhecido como um chamado à luta por um semiárido vivo, justo e fértil. Um território que, em vez de ser narrado como cenário de carências, seja reconhecido como jardim de possibilidades, onde a resiliência é raiz, a solidariedade é caule e a esperança, fruto.

Referências

ALTAFIN, Iara. **Reflexões sobre o conceito de agricultura familiar**. Brasília: CDS/UnB, p. 1-23, 2007.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2009.

CAPORAL, Francisco Roberto; COSTABEBER, José Antônio. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável: alguns conceitos e princípios. Brasília: MDA/SAF/DATER-IIICA, 2004.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology**: The Ecology of Sustainable Food Systems. Boca Raton: CRC Press. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2017**. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017>. Acesso em: 21 agosto 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Semiárido brasileiro**: base de dados. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro.html>. Acesso em: 21 jul 2025.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL (Brasil) (ITS). **Caderno de debate**: tecnologia social: direito à ciência e ciência para a cidadania. São Paulo: Instituto de Tecnologia Social, 2004. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5172>. Acesso em: 10 ago. 2025.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L.H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SÁ, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES-FILHO, C. G. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. (org). **Semiárido brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, pp. 18-48. 2010

SILVA, Roberto Marinho Alves da. Entre dois paradigmas: combate à seca e convivência com o semi-árido. **Sociedade e estado**, v. 18, p. 361-385, 2003.

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias da; CARVALHO, Rachel de. **Revisão integrativa**: o que é e como fazer. Einstein (São Paulo), v. 8, p. 102-106, 2010.

VAN DER PLOEG, Jan Douwe. O modo de produção camponês revisitado. In: SCHNEIDER, Sérgio (org.). **A diversidade da agricultura familiar**. Porto Alegre: UFRGS, 2006. p. 13-54.

Anexos



Figura 1: Fluxograma Metodológico



Figura 2 - Distribuição territorial



Figura 3 - Relação de trabalhos por base de pesquisa



Quadro 1 - Impactos e desafios observados

CÓDIGO: ET0818

AUTOR: RAFAEL SALES DE ALMEIDA CAVALCANTI

ORIENTADOR: FABIO MENEGHETTI UGULINO DE ARAUJO

TÍTULO: Educação Maker em Engenharia: Desenvolvimento de Plantas Piloto Baseadas em Arduino e Similares para o Ensino de Controle e Automação

Resumo

O ensino de conceitos abstratos em engenharia, como o controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID), representa um desafio pedagógico significativo devido à dificuldade dos alunos em conectar a teoria matemática à prática. Este trabalho aborda essa lacuna desenvolvendo umg planta piloto didática de baixo custo, baseada na filosofia Maker, para a experimentação e sintonização prática de controladores PID. A metodologia incluiu a construção de um protótipo com microcontrolador ESP8266 e motor com encoder, e o desenvolvimento de uma interface web interativa em React com visualização 3D (Three.js) e gráficos em tempo real (Chart.js). Como resultado, obteve-se um sistema integrado e funcional que permite ao usuário alterar os parâmetros do PID e observar seus efeitos imediatos no comportamento do motor físico e em sua representação gráfica. Conclui-se que a plataforma possui alto potencial para tangibilizar a teoria de controle, facilitar a democratização do acesso à experimentação e alinhar o ensino de engenharia às competências tecnológicas atuais.

Palavras-chave: Educação Maker em Engenharia: Desenvolvimento de Plantas Piloto Basead

TITLE: Maker Education in Engineering: Development of Arduino-Based Pilot Plants and Similar Devices for Teaching Control and Automation

Abstract

Teaching abstract concepts in engineering, such as Proportional-Integral-Derivative (PID) control, represents a significant pedagogical challenge due to students' difficulty in connecting mathematical theory to practice. This work addresses this gap by developing a low-cost educational pilot plant, based on the Maker philosophy, for experimentation and practical tuning of PID controllers. The methodology included the

construction of a prototype with an ESP8266 microcontroller and an encoder motor, and the development of an interactive web interface in React with 3D visualization (Three.js) and real-time graphics (Chart.js). As a result, an integrated and functional system was obtained that allows the user to change the PID parameters and observe their immediate effects on the behavior of the physical motor and its graphical representation. It is concluded that the platform has high potential to make control theory tangible, facilitate the democratization of access to experimentation, and align engineering education with current technological skills.

Keywords: Maker Education. Engineering Education. Control. ESP8266. IoT

Introdução

No contexto da educação contemporânea, o Movimento Maker vem se destacando como uma poderosa abordagem pedagógica. Suas raízes na robótica educativa, desenvolvida em instituições de vanguarda como o Media Lab do MIT desde meados da década de 1990, evidenciam seu potencial para o aprendizado prático. O movimento é fundamentado nas filosofias do “Do it Yourself” (DIY) e “Do it with Others” (DIWO) e, em sua base, está a “ideia de que pessoas comuns podem construir, consertar, modificar e fabricar os mais diversos tipos de objetos e projetos com suas próprias mãos” (CORDOVA, 2016, p. 2). Essa ideia de empoderamento tecnológico é o que a torna a Cultura Maker uma ferramenta transformadora para o ensino.

O ensino de conceitos abstratos em engenharia, como o controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID), representa um desafio pedagógico significativo devido à dificuldade dos alunos em conectar a teoria matemática à prática. Este trabalho aborda essa lacuna desenvolvendo uma planta piloto didática de baixo custo, baseada na filosofia Maker, para a experimentação e sintonização prática de controladores PID. A metodologia incluiu a construção de um protótipo com microcontrolador ESP8266 e motor com encoder, e o desenvolvimento de uma interface web interativa em React com visualização 3D (Three.js) e gráficos em tempo real (Chart.js). Como resultado, obteve-se um sistema integrado e funcional que permite ao usuário alterar os parâmetros do PID e observar seus efeitos imediatos no comportamento do motor físico e em sua representação gráfica. Conclui-se que a plataforma possui alto potencial para tangibilizar a teoria de controle, facilitar a democratização do acesso à experimentação e alinhar o ensino de engenharia às competências tecnológicas atuais

A implementação de práticas da Educação Maker nos cursos de engenharia é fundamental por tangibilizar o conhecimento teórico, permitindo que os alunos visualizem e interajam diretamente com os princípios que estudam. A grande vantagem dessa abordagem, como aponta Anderson (2012, p. 34), é a possibilidade de criar soluções "ao mesmo tempo pequeno e global (...) tanto artesanal quanto inovador (...) não só de alta tecnologia, mas também de baixo custo". Essa acessibilidade foi impulsionada por plataformas de hardware de código aberto. A mais icônica delas, o Arduino, pode ser definida como uma plataforma que combina uma placa eletrônica programável com um software de desenvolvimento simplificado, tendo sido o "cérebro"

de inúmeros projetos, de objetos cotidianos a instrumentos científicos (ARDUINO, 2024).

Seguindo essa evolução de hardware acessível, surgiram microcontroladores como o ESP8266, que se destaca por integrar conectividade Wi-Fi nativa (ESPRESSIF, 2025), sendo ideal para projetos de Internet das Coisas (IoT). Um dos maiores desafios no ensino de controle é a dificuldade dos alunos em visualizar o comportamento de controladores de malha fechada, como o amplamente utilizado controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID). A sintonização de suas constantes (P, I e D) é um processo experimental que a teoria por si só não consegue transmitir eficazmente. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma planta piloto de baixo custo que permita exatamente essa experimentação e sintonização prática de um controlador PID. Utilizando o ESP8266, o sistema pode ser controlado remotamente através de uma página web moderna, que não apenas simula um sistema de supervisão, mas também oferece uma plataforma visual para que os estudantes possam alterar as constantes P, I e D e observar, em tempo real, o efeito de suas escolhas no comportamento do sistema, tornando a experiência de aprendizado mais interativa e eficaz.

Metodologia

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada de desenvolvimento tecnológico, com abordagem qualitativa e exploratória, focada na construção de um protótipo funcional para fins didáticos. A execução do projeto iniciou-se com a montagem do componente físico, a planta piloto. Para isso, foram utilizados componentes eletrônicos de baixo custo adquiridos com recursos próprios, com destaque para o módulo NodeMCU com microcontrolador ESP8266 e um motor DC de 6V com caixa de redução e 220 RPM nominais, já acoplado a um encoder rotativo incremental para feedback de velocidade. O circuito foi montado em uma placa de circuito impresso universal com os componentes soldados. O motor foi conectado a um módulo driver mini Ponte H L298N, cujos pinos de controle de sentido (IN1 e IN2) foram ligados, respectivamente, aos pinos digitais D1 e D2, e o pino de controle de velocidade foi conectado ao pino D3 do NodeMCU. Os pinos D4 e D5 foram configurados como entradas para receber os sinais dos pulsos do encoder. O diagrama esquemático completo do sistema está detalhado no Anexo A.

Para o controle lógico do hardware foi desenvolvido um firmware customizado em linguagem C++ na IDE do Arduino. Utilizando as bibliotecas ESP8266WiFi.h, ESPAsyncWebServer.h e ArduinoJson.h^{*,**}, o código primeiramente estabelece a conexão do microcontrolador à rede Wi-Fi local. Logo após, é instanciado um servidor web assíncrono que responde a requisições HTTP em endpoints específicos. Foram implementadas duas rotas principais: uma rota /parametros (via GET) para retornar um objeto JSON com os valores atuais do sistema, como as constantes do controlador (P, I, D), o erro e a velocidade (RPM); e uma rota /alterarPID (via POST) para receber e aplicar novas constantes ao controlador. A lógica de controle de malha fechada foi implementada através de um algoritmo Proporcional-Integral-Derivativo (PID). Em

intervalos de tempo regulares, o firmware realiza a leitura dos pulsos do encoder para calcular a velocidade atual do motor. Com base nas especificações técnicas comumente encontradas para o motor modelo GA25-370, foi adotada a resolução de 374 pulsos por rotação**. O firmware então** contabiliza esses pulsos para obter o valor preciso em RPM. Este valor é então comparado com a velocidade desejada (setpoint) para gerar um sinal de erro, que é processado pelo algoritmo PID para calcular a ação de controle. O resultado é convertido em um sinal de modulação por largura de pulso (PWM) que ajusta a velocidade do motor, fechando o ciclo de controle.

Complementando o sistema físico e embarcado, a interface de controle do usuário foi desenvolvida como uma aplicação web moderna (Single-Page Application), garantindo uma experiência de uso intuitiva. Utilizando o framework React com TypeScript, foi construída uma interface robusta e de fácil manutenção. O principal diferencial da aplicação é a renderização de um motor similar ao que é usado na planta física, que espelha o estado do dispositivo físico em tempo real. Esta visualização foi implementada com as bibliotecas Three.js e seu ecossistema para React, o React Three Fiber. Adicionalmente, para a visualização dos dados de performance do sistema, foi integrado um componente de gráfico utilizando a biblioteca Chart.js, que plota dinamicamente os valores de RPM e setpoint. A comunicação entre a página web e o ESP8266 é realizada de forma assíncrona; interações do usuário nos controles da tela disparam requisições HTTP via API Fetch para o endereço de ip do ESP8266, permitindo o controle remoto e preciso do sistema.

O desenvolvimento do projeto foi conduzido em fases metodológicas distintas, executadas entre setembro de 2024 e agosto de 2025. A etapa inicial (setembro-outubro de 2024) consistiu na revisão bibliográfica para fundamentação teórica e seleção das tecnologias. A fase de prototipagem (novembro-dezembro de 2024) foi realizada em protoboard com um microcontrolador Arduino. Durante os testes, identificou-se um desafio prático: a vibração gerada pelo motor causava instabilidade mecânica nas conexões, resultando em falhas operacionais do protótipo. Para solucionar esta questão, a etapa subsequente (janeiro-março de 2025) focou na consolidação do hardware, migrando o circuito para uma placa de circuito impresso universal com componentes soldados, garantindo assim a robustez e a confiabilidade das conexões elétricas. A fase de desenvolvimento e integração do software (abril-junho de 2025) concentrou-se no aperfeiçoamento da interface web e sua comunicação com o hardware. Neste ponto, o Arduino foi substituído pelo microcontrolador ESP8266, visando incorporar a funcionalidade de comunicação sem fio (Wi-Fi). Por fim, o período de junho a agosto de 2025 foi dedicado à depuração final do sistema integrado e à elaboração deste documento científico.

Resultados e Discussões

O principal resultado obtido neste trabalho foi o desenvolvimento bem-sucedido de uma planta piloto didática, de baixo custo e totalmente funcional, que constitui o resultado técnico desta pesquisa. O protótipo, consolidado em uma placa de circuito impresso universal (Anexo B e Anexo C), demonstrou alta robustez mecânica, solucionando o

problema de instabilidade por vibração identificado na fase de prototipagem. A interface web de controle (Anexo D), por sua vez, apresenta ao usuário um painel de comando intuitivo com campos para a manipulação das constantes do controlador PID (K_p , K_i , K_d) e do setpoint de velocidade. A tela exibe um modelo digital 3D do motor, que espelha o comportamento físico do atuador, e um gráfico dinâmico que plota a resposta do sistema em tempo real. Testes de validação comprovaram a integração coesa entre o hardware e o software, com a comunicação via Wi-Fi permitindo o controle preciso e a visualização de dados de forma contínua. Nesse sentido, o acesso do laboratório remoto pode ser feito de qualquer lugar desde que esteja conectado no mesmo Wi-Fi do dispositivo. O projeto não trabalha com equações no papel, mas com gráficos e dados em tempo real, treinando o aluno em desenvolver competências na interpretação de dados dinâmicos.

Para além da funcionalidade técnica, a principal contribuição deste trabalho reside em seu potencial pedagógico. A dificuldade em conectar a teoria matemática do controle PID com sua aplicação prática é um desafio recorrente no ensino de engenharia. A ferramenta desenvolvida aborda diretamente essa questão, alinhando-se à perspectiva de Freitas (2010), que ressalta a importância de "alternativas que mostrem aos estudantes uma nova visão do que é ensinado em sala de aula". Neste projeto, a "nova visão" é a capacidade de o aluno manipular as constantes do controlador e observar a consequência instantânea no som e movimento do motor físico, na animação do modelo digital 3D do motor e na curva do gráfico de resposta. Essa sobreposição de feedbacks transforma a sintonização de um controlador, um exercício abstrato, em uma atividade experimental e intuitiva.

Adicionalmente, a arquitetura da solução propõe um novo modelo de laboratório. O acesso à interface web por qualquer dispositivo conectado à mesma rede Wi-Fi transforma a planta piloto em uma plataforma de experimentação remota local, permitindo que a atividade prática ocorra de modo flexível e até mesmo simultâneo por vários estudantes em uma sala de aula. Essa abordagem desloca o foco do aprendizado da manipulação de equações no papel para a interação com gráficos e dados em tempo real, treinando o aluno na competência essencial de interpretação de dados dinâmicos, que é fundamental para o engenheiro moderno.

Para ilustrar o potencial didático da plataforma, pode-se conceber um roteiro de experimento prático. Inicialmente, o aluno seria instruído a controlar o motor em malha aberta, apenas com um sinal PWM, para entender a relação direta entre o sinal de controle e a velocidade. Em uma segunda etapa, ele ativaria apenas o Controle Proporcional (P), observando no gráfico como o sistema se torna mais rápido, mas mantém um erro em regime estacionário. Subsequentemente, ao adicionar o Controle Integral (I), o aluno testemunharia a eliminação desse erro, mas também o possível surgimento de overshoot, visualizando a curva ultrapassar o setpoint. Por fim, a introdução do Controle Derivativo (D) permitiria ao estudante observar a atenuação dessas oscilações, melhorando a resposta transitória do sistema. Essa sequência experimental guiada transforma a sintonização de um PID em uma jornada investigativa, solidificando o conhecimento de forma prática e incremental.

Outro aspecto fundamental é a democratização do acesso à experimentação, um pilar da Cultura Maker. Blikstein (2016) descreve um cenário comum em ambientes

educacionais, onde o alto custo dos equipamentos gera ansiedade nos alunos, que ficam "com medo de usá-los" por receio de causar danos. A nossa planta piloto, por ser de baixo custo e facilmente replicável, subverte essa lógica. Ela cria um ambiente de aprendizado seguro, onde o erro não é apenas tolerado, mas incentivado como parte do processo iterativo de sintonização de um controlador. O aluno pode testar parâmetros extremos, levar o sistema à instabilidade e aprender com as consequências sem a pressão associada a um equipamento caro.

Adicionalmente, o valor pedagógico deste projeto transcende seu uso como ferramenta de controle, estendendo-se ao próprio processo de sua construção. A jornada metodológica, que incluiu desafios como a necessidade de aprender a soldar para garantir a robustez do hardware, reflete um ciclo completo de engenharia. O projeto, portanto, pode ser proposto não apenas como um equipamento a ser utilizado em aulas, mas como um projeto de aprendizado (learning project) a ser replicado por outros estudantes. A documentação do hardware e do software permite que, ao reconstruir a planta piloto, os alunos desenvolvam competências práticas em eletrônica (solda, montagem de circuitos), software embarcado (programação do ESP8266) e desenvolvimento web, culminando na crucial habilidade de integrar sistemas físicos e digitais.

É importante ressaltar que, embora o potencial pedagógico da ferramenta seja evidente, a principal limitação deste trabalho é a ausência de uma validação formal com um grupo de estudantes. No presente momento, os dados sobre seu impacto real no aprendizado são, portanto, qualitativos e baseados no potencial da ferramenta. Como trabalho futuro, propõe-se a realização de um estudo comparativo para avaliar quantitativamente a eficácia da plataforma em relação aos métodos de ensino tradicionais.

Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma planta piloto de baixo custo para o ensino prático do controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID) em cursos de engenharia, superando as barreiras de custo e abstração dos métodos tradicionais.

Como resultado, foi desenvolvido e validado um sistema funcional composto por um protótipo de hardware robusto, baseado no microcontrolador ESP8266, e uma interface web moderna com visualização 3D e gráficos em tempo real. A integração bem-sucedida dos componentes demonstrou a viabilidade da proposta, permitindo o controle e a sintonização remota de um controlador PID de forma interativa.

A principal contribuição desta pesquisa reside na criação de uma ferramenta pedagógica multimodal, que oferece ao estudante um feedback simultâneo (físico, visual 3D e gráfico), facilitando a conexão intuitiva entre a teoria matemática e o comportamento prático de um sistema de controle. Alinhado à Cultura Maker, o projeto se destaca como uma alternativa acessível que não apenas tangibiliza o conhecimento, mas também reduz as barreiras psicológicas à experimentação.

Conclui-se que a utilização de plataformas de hardware de baixo custo, aliada ao desenvolvimento de interfaces web interativas, representa um caminho promissor para modernizar e democratizar o ensino de disciplinas complexas como Sistemas de Controle. Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação da ferramenta em um estudo de caso com estudantes de engenharia para validar quantitativamente sua eficácia pedagógica e seu impacto no engajamento discente.

Referências

ANDERSON, C. Makers: A nova revolução industrial. [S.l.]: Tradução de: SERRA, ACC Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ARDUINO. O que é o Arduino? 2025. Disponível em:
<<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 21 ago 2025

BLIKSTEIN, P. Digital fabrication and ‘making’ in education: The democratization of invention. FabLabs: Of machines, makers and inventors, v.4, n.1, p.1–21, 2013

BLIKSTEIN, P. Viagens em troia com freire: a tecnologia como um agente de emancipação. Educação e Pesquisa, SciELO Brasil, v. 42, p. 837–856, 2016.

CORDOVA, T.; VARGAS, I. Educação maker sesi-sc: inspirações e concepção. In: Conferência Fablearn Brasil. [S.l.: s.n.], 2016. v. 1, p. 1–4.

ESPRESSIF. ESP8266. 2025. Disponível em:
<<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>>. Acesso em :21 ago 2025.

FREITAS, C.; AL et. Desenvolvimento da educação na engenharia: Novas abordagens baseadas em experiências e observações. V Congresso Norte-Nordeste e Inovação, 2010.

Anexos



AnexoA - diagrama esquemático



AnexoB - protótipo



AnexoC - protótipo



AnexoD - pagina web

CÓDIGO: ET0833

AUTOR: MATEUS DA SILVA CARDOSO

ORIENTADOR: EDSON NORIYUKI ITO

TÍTULO: Mistura e caracterização de amido termoplástico com fibras de algodão

Resumo

Este estudo avaliou o efeito da adição de raspas de algodão (WC) em biocompósitos à base de amido de mandioca (TPS). Os resultados da microscopia demonstraram que houve uma maior dispersão das fibras na matriz à medida em que houve um aumento na concentração das raspas de algodão. O ensaio sob tração uniaxial mostrou que ao aumentar a quantidade de algodão na matriz de TPS, há um aumento na resistência máxima do material, porém uma diminuição no alongamento. A absorção de umidade foi reduzida nas formulações com concentração a partir de 5 wt% de WC, atribuída à barreira física das raspas e à formação de ligações de hidrogênio com a matriz de TPS. Os resultados indicam que a adição de WC melhora propriedades estruturais e de barreira, tornando os biocompósitos promissores para aplicações sustentáveis.

Palavras-chave: Amido termoplástico, Raspa de algodão, Biocompósitos

TITLE: Preparation and characterization of thermoplastic starch/cotton fiber biocomposites

Abstract

This study evaluated the effect of adding waste cotton (WC) to cassava starch-based (TPS) biocomposites. Microscopy results showed that there was a greater dispersion of fibers in the matrix as the concentration of cotton waste increased. The uniaxial tensile test showed that increasing the amount of cotton in the TPS matrix led to an increase in the material's maximum strength, but a decrease in elongation. Moisture absorption was reduced in formulations with a concentration of 5 wt% of WC or more, which was attributed to the physical barrier of the waste and the formation of hydrogen bonds with the TPS matrix. The results indicate that the addition of WC improves structural and barrier properties, making these biocomposites promising for sustainable applications.

Keywords: Thermoplastic starch, Waste cotton, Biocomposites

Introdução

O uso do amido como matéria-prima para a produção de um material polimérico biodegradável tem ganhado destaque nas últimas décadas como uma alternativa para substituir polímeros da indústria petroquímica. O amido, em sua forma nativa, não possui as características de um polímero termoplástico industrialmente aplicável, sendo necessário romper a estrutura semicristalina original dos grânulos para obter uma matriz polimérica homogênea e amorfa que possa ser processada por técnicas tradicionais de processamento de polímeros e obter o amido termoplástico (TPS). Embora possua vantagens ambientais significativas, o TPS apresenta limitações as quais dificultam a aplicação deste material nos mais variados setores. Dentre estas limitações, as que mais dificultam a aplicação deste material é a sua baixa resistência mecânica e térmica, juntamente com uma alta capacidade de absorção de água [1-4].

Uma das alternativas mais interessantes para superar essas desvantagens é o uso de fibras naturais como reforço para TPS. Quando as fibras naturais são misturadas com TPS, suas propriedades mecânicas, térmicas e sua resistência à água são melhoradas devido à semelhança química do amido e das fibras vegetais e a natureza[5]. Estudos realizados por Curvelo et al. [6] sugerem uma redução significativa na absorção de água pela adição de fibras de celulose comerciais ou microfibras. Este comportamento está relacionado ao caráter hidrofóbico das fibras de celulose em comparação com a propriedade hidrofílica do amido. Estes estudos também demonstraram uma estabilidade térmica melhorada devido a uma maior e mais longa resistência térmica das fibras de celulose.

Neste contexto, as fibras de algodão apresentam características de interesse científico e industrial, sendo uma das matérias-primas mais utilizadas na indústria têxtil devido a sua composição química que apresenta um percentual entre 85 e 97% de celulose além de outros componentes minoritários como a hemicelulose, lignina, pectina, proteína, cinzas, gordura[7]. Portanto, este trabalho teve como objetivo produzir e avaliar a influência da raspa de algodão nas propriedades ópticas e físicas dos biocompósitos de TPS e raspa de algodão.

Metodologia

2.1 Materiais

Neste projeto serão utilizados o amido de mandioca comercial da Yoki Alimentos S/A, glicerol PA da Dinâmica Contemporânea Ltda com grau de pureza de 99,5%, água destilada e fibras de algodão (WC) oriundas da indústria têxtil do Rio Grande do Norte.

2.2 Métodos

2.2.1 Pré-mistura dos componentes

A pré-mistura dos componentes foi realizada em misturador orbital Cadence BAT508 com o objetivo de dispersar de forma homogênea todos os componentes. A proporção de cada componente nas formulações está disponível na Tabela 1.

2.2.2 Mistura e processamento em extrusora

Os biocompósitos poliméricos foram obtidos por meio da mistura em extrusora dupla rosca co-rotacional da empresa AX Plásticos Máquinas Técnicas, modelo AX – DR 16:40, com diâmetro de 16 mm de rosca, razão de aspecto (L/D) igual a 40 e possui 8 zonas de aquecimento do funil de alimentação até a matriz (tipo furo). Utilizou-se o perfil de temperatura de 50/60/110/120/120/130/130/135 °C e rotação da rosca de 180 rpm.

Os materiais obtidos foram granulados, identificados e estocados para as etapas seguintes. Os granulados obtidos foram plastificados usando a extrusora mono rosca da marca AX Plásticos Máquinas Técnicas Ltda. com um diâmetro de 16mm e L/D de 26, com matriz tipo fita, sob o perfil de temperatura de 130/140/150°C e uma rotação de rosca de 180 rpm. Posteriormente as fitas foram cortadas para obtenção de corpos de prova tipo V seguindo a norma ASTM D638.

2.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia da região de fratura das fitas foi avaliada por meio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca HITACHI, modelo TM 3000, equipado com um filamento de tungstênio (W) e um detector de elétrons retroespalhados, sendo realizada a análise a vácuo. Nesta perspectiva, durante a análise, a tensão do feixe de elétrons foi de 15KV, com os elétrons acelerados em uma maior intensidade.

2.2.4 Ensaio sob tração uniaxial

O ensaio mecânico sob tração uniaxial das fitas foi realizado utilizando um equipamento EMIC modelo DL-3000. A taxa de deslocamento da cruzeta foi de 1mm.min⁻¹ e carga celular de 30kN.

2.2.5 Absorção de umidade

O ensaio de absorção de umidade das fitas foi realizado de acordo com a norma ASTM E104 utilizando 5 réplicas. As fitas foram cortadas em quadrados (30mmx30mm) e foram secas em estufa a 105°C até a massa constante (Mi). As amostras secas foram então condicionadas a 85 ± 1% de umidade relativa (UR) a 21°C por 288h para absorver a umidade até a massa ficar constante (Mf). As absorções de água das fitas foram calculadas usando a Eq. 3.

$$MA (\%) = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

Resultados e Discussões

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos em microscopia eletrônica de varredura (MEV) da amostra de TPS e dos compósitos produzidos. A partir das imagens é possível perceber que há uma maior dispersão das fibras na matriz de amido à medida em que aumenta-se a concentração das raspas no material obtido.

Tal dispersão pode corroborar com as seguintes caracterizações, pois, como é possível observar na Figura 2, o perfil de absorção de umidade das amostras no tempo, até 288 horas. A partir da ampliação do gráfico, é possível observar que não há diferenças significativas na absorção de água entre o TPS puro, os biocompósitos contendo 1 e 3% de WC, sendo os três próximos a 60%. Entretanto, a partir do 5WC, observa-se uma redução significativa da absorção, atingindo aproximadamente 55% na amostra 10WC. Tal comportamento pode ser atribuído a uma barreira física imposta pelas raspas de algodão na matriz de TPS, dificultando a penetração das moléculas de água para o interior do material. Adicionalmente, a diminuição na absorção também pode ser explicada pela formação de ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila (OH-) presentes na matriz de TPS e nas raspas de algodão, o que reduz a quantidade de grupos hidroxila livres disponíveis para interação com moléculas de água. Comportamentos semelhantes foram observados por Prachayawarakorn et al. [8].

A Figura 3 apresenta os gráficos dos resultados dos ensaios sob tração uniaxial do TPS puro e dos compósitos obtidos. Como é possível observar, na figura 3a temos um acréscimo nos valores de resistência máxima à medida em que se aumenta a concentração de fibra no material, o que pode ter ocorrido devido à compatibilidade e estrutura similar do algodão com a matriz, o que faz com que haja uma maior adesão da fibra ao TPS e, conseqüentemente, uma maior facilidade para que a carga seja transferida para o algodão e torne as amostras mais resistentes [9,10].

Também foi observado que houve uma redução no alongamento na ruptura (figura 3b) do material variando de 95,65% no TPS puro para 44,50% na amostra com 10% de fibra. Isso deve ocorrer devido ao fato de que as raspas de algodão apresentam um alto teor de celulose em, o que faz com que a estrutura das fibras se torne mais frágil e dura, o que ocasiona um material mais duro e a conseqüente diminuição do alongamento no material após o algodão ser adicionado ao TPS. [9]

Conclusão

Foi possível concluir que a incorporação da rassa de algodão à matriz de TPS influenciou nas características físicas do material produzido. Ao adicionar as raspas, houve uma maior dispersão no material, um decréscimo nos níveis de absorção de água das amostras com 5 e 10% de algodão, um aumento na resistência máxima do material e uma diminuição no alongamento das amostras. Os resultados, no geral, evidenciam o potencial do uso das raspas de algodão como reforço sustentável em matrizes poliméricas biodegradáveis.

Referências

M. A. A. B. Rmili,. Production and Characterization of Polymer Blend From LPDE and Starch. Universiti Malaysia Pahang. 2012

S. Mali; M. V. E. Grossman; F. Yamashita.. Ciências Agrárias, 2010, v. 31, n. 1, p 137-156

J. F. A. Mendes, et al. Carbohydrate Polymers, v. 137, p. 452-458, 2016.A

A. M. Nafchi; M. Moradpour; M. Saeidi; A. K. Starch/Stärke 2013, 65, 61–72.

J. Prachayawarakorn; P. Sangnitivej; P. Boonpasith. Carbohydrate Polymers, Volume 81, Issue 2, 2010, Pages 425-433.

A. A. S. Curvelo, A. J. F. de Carvalho, J. A. M. Agnelli. Carbohydrate Polymers, 2001, Volume 45, Issue 2, Pages 183-188

R. G. Candido. In The Textile Institute Book Series, Fundamentals of Natural Fibres and Textiles. Woodhead Publishing, 2021, Pages 599-624.

Anexos



Tabela 1: formulações dos biocompósitos produzidos



Figura 1: Micrografia das amostras obtidas. (a) TPS, (b) 1WC, (C) 3WC, (d) 5WC e (e) 10WC.



Figura 2: Resultados das medidas de absorção de umidade das amostras obtidas.



Figura 3: Resultados das medidas dos ensaios sob tração uniaxial. (a) Resistência máxima, (b) Alongamento na Ruptura

CÓDIGO: ET0843

AUTOR: LÍVIA DANTAS VENTURA

ORIENTADOR: FABIANA VILLELA DA MOTTA

TÍTULO: Estudo da heteroestrutura Hidroxiapatita/ZnO para avaliação estrutural, fotocatalítica e antimicrobiana

Resumo

Este trabalho apresenta a síntese e caracterização da heteroestrutura hidroxiapatita (HAp) com óxido de zinco (ZnO) para estudo estrutural, fotocatalítico e antimicrobiano, tendo como finalidade a sua utilização para remediar os danos ambientais causados pelos efluentes líquidos, conhecidos como corantes. Para isso, a síntese foi realizada pelo método hidrotermal por micro-ondas, seguida de calcinação. Com a obtenção do material, foram realizadas as caracterizações utilizando as técnicas de DRX, MEV-FEG e atividade fotocatalítica. Os resultados do DRX confirmaram a formação da HAp/ZnO sem fase secundária. Enquanto o MEV-FEG evidenciou a morfologia da HAp, do ZnO e da heteroestrutura HAp/ZnO na amostra H50ZN, indicando contato interfacial entre os materiais, além da realização do mapeamento elementar EDS que intensificou a validação da formação da heteroestrutura. Estes resultados indicam o potencial de formar a heteroestrutura HAp/ZnO para aplicações ambientais envolvendo os sistemas hídricos.

Palavras-chave: hidroxiapatita; óxido de zinco; corantes; atividade fotocatalítica.

TITLE: Study of the Hydroxyapatite/ZnO heterostructure for structural, photocatalytic and antimicrobial evaluation

Abstract

This work presents the synthesis and characterization of the hydroxyapatite/ZnO heterostructure for structural, photocatalytic, and antimicrobial studies, aiming at its use in remediating the environmental damage caused by liquid effluents, known as dyes. The synthesis was performed by the microwave hydrothermal method, followed by calcination. Once the material was obtained, characterizations were performed using XRD, SEM-FEG, and photocatalytic activity techniques. The XRD results confirmed the formation of HAp/ZnO without a secondary phase. Meanwhile, SEM-FEG demonstrated the morphology of HAp, ZnO, and the HAp/ZnO heterostructure in the H50ZN sample,

indicating interfacial contact between the materials. Elemental EDS mapping also enhanced the validation of the heterostructure formation. These results indicate the potential of forming the HAp/ZnO heterostructure for environmental applications involving water systems.

Keywords: hydroxyapatite; zinc oxide; dyes; photocatalytic activity.

Introdução

1. INTRODUÇÃO

Os corantes são amplamente utilizados em diversas indústrias, incluindo têxteis, borracha, plásticos, impressão, couro e cosméticos, para conferir cor aos seus produtos e, conseqüentemente, essas indústrias geram quantidades significativas de águas residuais coloridas [1]. Com o aumento da carga poluidora do planeta por efluentes líquidos, é necessário a produção e implementação urgente de tecnologias eficientes juntamente com pesquisas em tratamento dos recursos hídricos para remediar os danos ambientais [2].

Entre as alternativas mais estudadas estão os Processos Oxidativos Avançados (POAs), considerados altamente promissores para degradar poluentes orgânicos recalcitrantes. Esses processos baseiam-se na geração de espécies reativas, principalmente o radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$). Esse radical, por apresentar elevado potencial padrão de redução (2,73 V vs EPH), possui forte poder oxidativo, capaz de degradar moléculas complexas em compostos inofensivos como dióxido de carbono, água e íons inorgânicos [3-6]. A produção de $\bullet\text{OH}$ pode ocorrer pelo uso de peróxido de hidrogênio, ozônio, irradiação ultravioleta ou pela ativação de semicondutores como dióxido de titânio e óxido de zinco.

Nesse contexto, a fotocatalise heterogênea destaca-se como método eficiente por utilizar energia solar, recurso abundante e renovável. Essa característica faz da fotocatalise uma alternativa econômica e ecologicamente correta, com potencial para uso em larga escala [7]. Para melhorar sua eficiência, busca-se reduzir o band gap dos semicondutores e evitar a recombinação do par elétron-buraco (e^-/h^+). Uma estratégia promissora é a formação de heteroestruturas, que combina materiais distintos e amplia a separação de cargas fotogeradas, além de favorecer o aproveitamento da luz visível.

A hidroxiapatita (HAp), fosfato de cálcio de fórmula $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, tem atraído atenção devido à sua biocompatibilidade e bioatividade. Trata-se de um material cerâmico capaz de se integrar ao tecido ósseo humano, sendo amplamente usado em implantes e próteses. Além disso, apresenta aplicações em adsorção, fotocatalise e ação antimicrobiana [8,9]. Outro ponto favorável é sua síntese a partir de resíduos biogênicos ricos em cálcio, como conchas marinhas e ossos, o que a torna sustentável [10,11]. Entretanto, seu elevado band gap (superior a 5 eV) limita a absorção de luz visível, restringindo sua aplicação direta em fotocatalise [12].

Para superar essa limitação, a associação da HAp com semicondutores de menor band gap tem se mostrado eficaz. O óxido de zinco (ZnO), com band gap em torno de 3,2 eV, apresenta boa estabilidade química e elevada atividade fotocatalítica, sendo amplamente estudado [13]. A formação da heterojunção HAp/ZnO combina as propriedades de ambos os materiais, trazendo vantagens como: (i) melhor separação e transporte das cargas fotogeradas; (ii) maior aproveitamento da luz visível; e (iii) união das características bioativas da HAp com a capacidade fotocatalítica do ZnO, resultando em um material multifuncional.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo sintetizar e caracterizar heteroestruturas HAp/ZnO, avaliando suas propriedades estruturais, morfológicas, ópticas e eletrônicas, bem como sua eficiência na degradação de poluentes orgânicos e na inativação de microrganismos patogênicos. Assim, busca-se contribuir com alternativas sustentáveis para o tratamento de águas contaminadas e para o desenvolvimento de novos materiais com aplicações ambientais e antimicrobianas.

Metodologia

2. METODOLOGIA

Na figura 1 está apresentado o fluxograma resumido da realização dos procedimentos experimentais.

2.1 Procedimentos experimentais

Síntese de HAp:

Inicialmente os resíduos das conchas foram calcinados em mufla elétrica a 1000 °C por 4h, enquanto o carbonato de cálcio (CaCO_3) presente nas conchas foi convertido em óxido de cálcio (CaO) nesse processo.

Os pós de hidroxiapatita foram obtidos partindo de soluções precursoras de hidróxido de cálcio e fosfato de potássio trihidratado, obedecendo a razão molar $\text{Ca/P} = 1,67$. Previamente, foi necessário a obtenção da solução de hidróxido de cálcio, utilizando 1,67 g de CaO sob agitação vigorosa até que o pH atingisse 12.

Após o preparo da solução de hidróxido de cálcio, foi obtido a solução de fosfato de potássio trihidratado, para ser gotejada sobre a solução de Ca^{2+} em 80°C. Finalmente, deixou-se a solução sob envelhecimento e depois levada para o micro-ondas, sob temperatura de 150 °C por 20 minutos.

Ao término da síntese por micro-ondas, foi realizada a remoção das possíveis impurezas contidas no produto obtido para poder ser seco na estufa e inserido no forno mufla à 500°C por 2 horas.

Síntese da heteroestrutura (Hap/ZnO) a partir de uma fase-pré formada:

Para a síntese das heteroestruturas HAp/ZnO, preparou-se inicialmente a solução precursora do óxido de zinco (ZnO) e ajustou-se o pH para 10, visando favorecer a estabilidade coloidal e a dispersão adequada do óxido. Em seguida, a hidroxiapatita (HAp) previamente sintetizada, empregada como fase pré-formada, foi adicionada à suspensão, variando-se a massa de ZnO em 50% em relação à massa de HAp. A mistura resultante foi mantida sob agitação constante por 20 minutos para promover a incorporação homogênea do óxido à matriz. O ZnO puro também foi preparado separadamente e utilizado nas análises de caracterização estrutural. As amostras foram codificadas como ZnO, HAp e HxZN ($x = 50$).

2.2 Técnicas de Caracterização

Difração de raio-X (DRX):

A Difração de raio-X (DRX) é um método em que os raios-x atingem um cristal, em que serão difratados pelos átomos, resultando um padrão de interferência que indica a estrutura atômica do material que está sendo analisado, essencial para a caracterização de materiais cristalinos. Ademais, esse processo é baseado pela Lei de Bragg relacionando o ângulo de difração, a distância entre os planos cristalinos (d) e o comprimento de onda dos raios-X (λ).

O aparelho utilizado para a análise de DRX foi da marca Shimadzu (modelo XRD-7000) na faixa angular de difração de 10° a 70° (valores de 2θ). Foi utilizado na velocidade de varredura a rotina rápida ($5^\circ/\text{min}$) e radiação Cu K α . Assim, dados de intensidade foram coletados por ângulo de difração, que foram analisados pelos programas X'Pert HighScore Plus e Crystallographic. No entanto, os dados obtidos tiveram os dados de código ICSD-065121 (Albertsson, Abrahams e Kvick, 1989) dos bancos de dados dos programas como meio de comparação.

Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (MEV-FEG):

O funcionamento do MEV-FEG baseia-se na varredura do feixe de elétrons sobre a superfície da amostra. A interação entre o feixe e o material gera diferentes sinais, como elétrons secundários, elétrons retroespalhados e raios X característicos, que podem ser detectados para fornecer informações sobre morfologia, topografia e composição química com magnificações da ordem de centenas de milhares de vezes. Sendo ideal para análises de materiais em escala nanométrica. As amostras foram analisadas utilizando o equipamento da marca Zeiss modelo AURIGA-40, operando a 6kV.

Atividade fotocatalítica:

A atividade fotocatalítica indica a capacidade de um material, fotocatalisador, de catalisar reações químicas quando exposto à luz. Para isso, utiliza-se uma fonte de energia luminosa para gerar espécies reativas de oxigênio e outras espécies químicas, que atuam na remoção de poluentes orgânicos da água e do ar.

As propriedades fotocatalíticas das amostras foram avaliadas quanto à sua capacidade de degradar uma mistura de corantes (MIX), violeta de cristal (CV) e verde de malaquita (MG), por meio de um espectrofotômetro Shimadzu UV-Vis 2600, no qual as variações de absorbância dos corantes foram avaliadas na faixa de comprimento de onda de 300 a 800 nm. O MIX de corantes foram fotocatalisados sob irradiação solar. O teste foi realizado utilizando uma solução aquosa dos corantes a 1.10^{-5} mol.L⁻¹.

Resultados e Discussões

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Difração de raio-X (DRX)

A Figura 2 apresenta os difratogramas das amostras de HAp pura, ZnO heteroestruturas de HAp e ZnO. Tais amostras foram obtidas pelo método hidrotérmico assistido por micro-ondas. Os difratogramas foram analisados pelo software X'pert Highscore Plus onde foi observado que os picos de difração em $2\theta = 25,7^\circ, 31,7^\circ, 32,7^\circ, 33,9^\circ, 39,7^\circ, 45,6^\circ$ e $48,2^\circ$ estão de acordo com a carta ICSD 16742, referente ao sistema cristalino hexagonal do HAp e grupo espacial P63/m. Além do mais, os picos observados em $2\theta = 31,7^\circ, 34,4^\circ, 36,1^\circ, 47,5^\circ, 56,5^\circ, 62,8^\circ$ e $67,9^\circ$ referem-se a carta ICSD 26170 com uma estrutura de wurtzita hexagonal e grupo espacial P63mc [14].

Observa-se ainda nos difratogramas que não houve formação de fase secundária. Além disso, foram detectados picos de difração bem definidos e os mesmos indicaram um alto grau de ordem estrutural e periodicidade da rede cristalina da HAp em longo alcance, estando assim de acordo com a literatura [15,16]. Na heteroestrutura, picos de HAp e ZnO são observados.

3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (MEV-FEG)

A morfologia das amostras foram observadas via MEV-FEG e são mostradas na Figura 3. A amostra HAp (Figura 3-a) exibiu partículas finas em forma de bastão de tamanhos variados. Esta morfologia é mais comum de hidroxiapatita devido ao ambiente básico; ou seja, quanto maior a concentração de OH⁻, menos núcleos são formados e mais estágios de crescimento predominam, causando a formação de nanorods. Por outro lado, o ZnO puro (Figura 3-b) obtido foi formado por formas micro e nanoalongadas conectando-se aleatoriamente. Finalmente, as micrografias das heteroestruturas (Figura 3-c) mostram que os bastões de HAp foram depositados na superfície das partículas do ZnO, sugerindo possível contato interfacial entre os dois materiais. Finalmente, os resultados do mapeamento elemental EDS na Figura 4 mostram que HAp e ZnO estão presentes e distribuídos homogeneamente na amostra de H50ZN, mais uma vez indicando a formação de uma heteroestrutura [17].

3.3 Atividade Fotocatalítica:

O desempenho catalítico das amostras foi avaliado pela combinação dos corantes violeta cristal (CV) e verde malaquita (MG) sob a luz solar por um período de 120 minutos, sendo a eficiência determinada pela Eq. (1):

Eq. (1)

Onde C_0 representa a concentração inicial, C_t denota a concentração no tempo t e n é a quantidade de corantes na mistura. A constante de taxa de degradação (k) foi calculada para todos os resultados, ajustando-os a um modelo de pseudo-primeira ordem através da Eq. (2).

Eq. (2)

Onde C significa a concentração do poluente, C_0 é a concentração do poluente antes da exposição à irradiação e t refere-se ao tempo de reação (min).

Os resultados da eficiência de degradação para os corantes violeta cristal (CV) e verde malaquita (MG) em relação ao MIX sob irradiação solar estão ilustrados na Fig. 5. Após 120 minutos de degradação, o desempenho fotocatalítico das amostras com a heteroestrutura melhorou de maneira significativa. As eficiências de degradação dos catalisadores seguem a seguinte ordem: $H50ZN > HAp$. A amostra H50ZN teve o desempenho fotocatalítico mais alto (99,38%) sob luz solar. Isso demonstra que as heteroestruturas aumentaram a eficiência de degradação do MIX que foi preparado [18].

Conclusão

4. CONCLUSÃO

Este estudo promoveu uma análise estrutural, fotocatalítica e antimicrobiana com base em investigações da heteroestrutura Hap/ZnO, obtida pelo método hidrotermal assistido por micro-ondas utilizando resíduos de conchas marinhas para a síntese da HAp. Com isso, as amostras obtidas foram calcinadas e caracterizadas.

Através da avaliação da Difração de Raios-X (DRX), observou-se que as amostras analisadas demonstraram elevada cristalinidade, exibindo picos de difração típicos da hidroxiapatita e do ZnO, o que confirma a formação bem-sucedida das heteroestruturas sem sinais de fases secundárias. A presença simultânea dos picos correspondentes a ambas as fases, na amostra H50ZN, sugere que as estruturas cristalinas originais foram preservadas, apresentando um alto nível de organização estrutural, alinhando-se com dados já descritos na literatura.

A caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (MEV-FEG) indicou a formação das heteroestruturas, evidenciando a deposição dos bastões de HAp sobre as partículas de ZnO, além do contato interfacial entre as fases. Ainda, foi verificado pelo mapeamento EDS a distribuição homogênea dos elementos,

corroborando a presença simultânea de HAp e ZnO na amostra H50ZN e reforçando a integração estrutural entre os materiais.

Assim, este estudo apresenta uma solução inovadora para aumentar o uso da heteroestrutura HAp/ZnO, investigando sua eficácia na degradação de poluentes ambientais e na supressão do crescimento de microrganismos nocivos. Os dados coletados sugerem que esse material possui propriedades estruturais e funcionais que potencializam seu desempenho em processos fotocatalíticos e antimicrobianos, destacando sua eficiência e adaptabilidade para essas aplicações, além de apoiar o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis focadas na proteção ambiental e na saúde coletiva.

Referências

5. REFERÊNCIAS

- [1] Alegba EA, Uthman TO. A review of history, properties, classification, applications and challenges of natural and synthetic dyes. 1–19 Heliyon 2024;10 (1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33646>.
- [2] ARAÚJO, Bruna Aline et al. Processos oxidativos avançados aplicados no tratamento de efluentes da produção de membranas: revisão de literatura. Research, Society and Development, v. 10, n. 4, p. e27210414253-e27210414253, 2021.
- [3] WANG, Cuicui et al. Synthesis, photothermal effects, and antibacterial properties of lanthanum-doped hydroxyapatite. Ceramics International, v. 49, n. 7, p. 11378- 11392, 2023
- [4] DOMINGUES, Giovana; DÜSMAN, Elisângela; VICENTINI, Veronica Elisa Pimenta. Cytotoxicity of Crude and Treated Liquid Effluents from Textile Industry Dyeing Using Bioindicator Allium cepa L. Water, Air, & Soil Pollution, v. 231, p. 1-10, 2020.
- [5] DA ROCHA SANTANA, Rayany Magali et al. Original nanostructured bacterial cellulose/pyrite composite: Photocatalytic application in advanced oxidation processes. Chemosphere, v. 319, p. 137953, 2023.
- [6] YAGHOOT-NEZHAD, Ali et al. Heterogeneous photocatalytic activation of electrogenerated chlorine for the production of reactive oxygen and chlorine species: A new approach for Bisphenol A degradation in saline wastewater. Journal of Hazardous Materials, v. 445, p. 130626, 2023.
- [7] I. Khan, K. Saeed, N. Ali, I. Khan, B. Zhang, M. Sadiq, Heterogeneous photodegradation of industrial dyes: an insight to different mechanisms and rate

affecting parameters, J. Environ. Chem. Eng. 8 (2020) 104364,
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104364>.

[8] E. Sistanipour, A. Meshkini, H. Oveisi, Catechin-conjugated mesoporous hydroxyapatite nanoparticle: a novel nano-antioxidant with enhanced osteogenic property, Colloids Surfaces B Biointerfaces 169 (2018) 329–339.

[9] A. Haider, S. Haider, S.S. Han, I.-K. Kang, Recent advances in the synthesis, functionalization and biomedical applications of hydroxyapatite: a review, RSC Adv. 7 (13) (2017) 7442–7458.

[10] R. Fernández-Penas, C. Verdugo-Escamilla, C. Triunfo, S. Gartner, A. D'Urso, F. Oltolina, A. Follenzi, G. Maoloni, H. Cölfen, G. Falini, J. Gómez-Morales, A sustainable one-pot method to transform seashell waste calcium carbonate to osteoinductive hydroxyapatite micro-nanoparticles, J. Mater. Chem. B 11 (2023) 7766–7777, <https://doi.org/10.1039/d3tb00856h>.

[11] S.C. Wu, H.C. Hsu, H.F. Wang, S.P. Liou, W.F. Ho, Synthesis and characterization of nano-hydroxyapatite obtained from eggshell via the hydrothermal process and the precipitation method, Molecules 28 (2023) 4926,
<https://doi.org/10.3390/molecules28134926>.

[12] NORMANDIN, G.; PARVALLET, H.; FONTENOT, K.; et al. Band-gap measurements and photocatalytic activity of hydroxyapatite nanoparticles. Journal of Physical Chemistry C, v. 121, n. 18, p. 10189–10196, 2017. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcc.7b02764>. Acesso em: 11 ago. 2025.

[13] GHOSH, S. et al. Photocatalytic and photoelectrochemical applications of ZnO nanostructures: A review. Materials Today Chemistry, v. 30, p. 101620, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221171562300200X>.

[14] ROBLES-ÁGUILA, M. J.; REYES-AVENDAÑO, J. A.; MENDOZA, M. E. Structural analysis of metal-doped (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) calcium hydroxyapatite synthesized by a sol-gel microwave-assisted method. Ceramics International, v. 43, n. 15, p. 12705-12709, 2017.

[15] SEBASTIAMMAL, Saleth et al. Synthesis, Characterization, Antibacterial, Antifungal, Antioxidant, and Anticancer Activities of Nickel-Doped Hydroxyapatite Nanoparticles. Fermentation, v. 8, n. 12, p. 677, 2022.

[16] NISAR, Awais et al. Study of physico-mechanical and electrical properties of cerium doped hydroxyapatite for biomedical applications. Materials Chemistry and Physics, p. 127511, 2023.

[17] MARDZIAH, C. M. et al. Properties of sintered zinc hydroxyapatite bioceramic prepared using waste chicken eggshells as calcium precursor. Ceramics International, v. 49, n. 8, p. 12381-12389, 2023.

[18] Y. Xing, F. Tian, D. Wu, X. Yong, X. Jin, G. Ni. Facile synthesis of Z-scheme ZnMoO₄/Bi₂O₄ heterojunction photocatalyst for effective removal of levofloxacin. Inorg. Chem. Com. 143 (2022), 109763.

Anexos



Figura 1 – Fluxograma da método hidrotermal assistido por micro-ondas para obtenção da HAp/ZnO.



Figura 2 – Padrões de difração de raios-X.



Figura 3 - Imagens de MEV-FEG, sendo: a) HAp; b) ZnO; c) H50ZN.



Figura 4 - Análise de EDS da amostra H50ZN.



Tabela 1 - Percentual atômico da amostra H50ZN.



Figura 5 - Resultado da degradação fotocatalítica.

CÓDIGO: ET0867

AUTOR: THEO NAGAHAMA VARELA

COAUTOR: PEDRO UMBELINO DA SILVA

COAUTOR: JOSE JORDY DIAS DE LIMA

COAUTOR: SANDRA RUFINO SANTOS

ORIENTADOR: FERNANDA BARRETO DE ALMEIDA ROCHA MARIZ

TÍTULO: Análise de pedidos extras em um laboratório de análises clínicas: identificação de problemas na gestão de estoques

Resumo

A presença da gestão de estoque dentro das organizações é fundamental, pois auxilia no controle dos recursos, ajudando a superar os desvios e desperdícios identificados. Diante disso, este estudo tem por objetivo analisar se a quantidade de pedidos extras de insumos está relacionada com a demanda por exames em um laboratório de análises clínicas localizado no estado do Rio Grande do Norte. Os resultados indicaram que as causas não estão relacionadas à volatilidade da demanda, pois, conforme a análise do gráfico de coeficiente de determinação (R^2), a correlação entre as duas variáveis citadas foi fraca. Dessa forma, pode-se afirmar que problemas na gestão de estoque do laboratório são os principais causadores dos pedidos extras, tais como falhas na solicitação, adiantamento de pedidos, entre outros fatores destacados ao longo do artigo.

Palavras-chave: Gestão de Estoques. Análises Clínicas. Pedidos Extras. Correlação.

TITLE: Analysis of Extra Orders in a Clinical Laboratory: Identifying Problems in Inventory Management

Abstract

The presence of inventory management within organizations is essential, as it supports resource control and helps overcome identified deviations and waste. In this context, the aim of this study is to analyze whether the number of extra supply orders is related to the demand for tests in a clinical laboratory located in the state of Rio Grande do Norte. The results indicated that the causes are not related to demand volatility, since, according to the analysis of the coefficient of determination (R^2) graph, the correlation

between the two variables was weak. Therefore, it can be stated that inventory management issues in the laboratory are the main causes of extra orders, such as failures in requisition, early ordering, among other factors highlighted throughout the article.

Keywords: Inventory Management, Clinical Analysis, Extra Orders, Correlation.

Introdução

A gestão de estoques em laboratórios clínicos enfrenta desafios únicos, especialmente quando se trata de equilibrar a disponibilidade de insumos críticos, como reagentes e materiais descartáveis, com a imprevisibilidade da demanda. De acordo com Jacobs et al. (2011), a ocorrência da falta de estoque pode ser definida como uma situação em que a demanda não é atendida, acarretando, muitas vezes, no cancelamento do pedido.

Considerando isso, pedidos extras, que são solicitações de materiais realizadas fora do planejamento regular, acontecem com frequência nesse ramo, indicando falhas na previsão de consumo, sazonalidade de exames ou até mesmo deficiências na organização interna. Identificar padrões por trás dessas requisições não planejadas pode revelar oportunidades de melhoria, contribuindo para a redução de custos e o aumento da eficiência operacional.

Este estudo concentra-se na análise de dados de solicitações de materiais de um laboratório de análises clínicas no Estado do Rio Grande do Norte, utilizando dados históricos fornecidos pela própria organização. A problemática enfrentada se refletia na incidência de um volume alarmante de 69 pedidos extras ao longo do ano de 2024, caracterizando 75% do total de solicitações anuais.

Diante deste cenário, o objetivo designado para o trabalho é analisar e averiguar as causas para os pedidos extras, se o volume de pedidos extras é um fenômeno circunstancial, devendo-se à volatilidade da demanda, ou se há falhas na gestão de estoques do local. Para isso, combinou-se uma abordagem qualitativa, que interpreta decisões e critérios de reposição adotados pela equipe, com uma análise quantitativa, baseada no tratamento estatístico de dados.

Na seção 2, discute-se o referencial teórico sobre gestão de estoques e tipos de demanda. A seção 3 detalha a metodologia mista, enquanto a seção 4 apresenta os resultados, incluindo análise crítica das correlações. Por fim, as conclusões, na seção 5, articulam implicações práticas e sugestões para pesquisas futuras.

Metodologia

Quanto à natureza do trabalho, ele pode ser definido como uma pesquisa aplicada, conforme classificação de Ramos et al. (2003), uma vez que trata da problemática real da gestão de estoques de um posto de coleta de um laboratório.

O estudo adota uma abordagem mista (qualitativa e quantitativa). Inicialmente, classifica-se como qualitativo, pois interpreta práticas de previsão de demanda e desafios organizacionais, descrevendo elementos abstratos do sistema de gestão sem mensurá-los diretamente, conforme abordagem de Gil (1999). Paralelamente, apresenta um viés quantitativo, investigando cenários por meio de dados descritivos, como frequência de pedidos e variações de demanda, o que permite uma compreensão aprofundada dos processos, seguindo a perspectiva de Moreira e Callefe (2008).

Quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória, conforme definição de Prodanov e Freitas (2013), já que visa gerar percepções preliminares sobre a problemática estudada, sem esgotar suas complexidades. Já o método adotado é o estudo de caso, conforme proposto por Yin (2001), desenvolvido por meio da análise da realidade física da empresa e da identificação de fenômenos operacionais.

O campo de estudo se trata de um posto de coleta de material biológico para realização de exames laboratoriais, sendo este uma dentre várias unidades de operação pertencentes à empresa estudada. A coleta de dados foi realizada, inicialmente, através de entrevistas ao gerente da unidade, durante visitas ao local, e ao responsável pelo setor de suprimentos da empresa, visando entender as particularidades do local e como é feita a gestão de estoques e solicitação dos materiais.

Em seguida, foram levantados dados quantitativos, por meio de planilhas fornecidas pela alta gestão da empresa, contendo registros históricos de pedidos extras e demanda de exames do estabelecimento (análise documental). Os dados fazem referência a todo o ano de 2024 e foram coletados entre Janeiro e Março de 2025. Conforme Gil (1999), documentos institucionais são fontes válidas para pesquisas aplicadas, permitindo a triangulação entre teoria e prática.

Após a coleta, foram aplicadas ferramentas de análise de dados através de planilhas eletrônicas, servindo para filtrar e agregar os dados necessários, elaborar gráficos e realizar análises estatísticas, como a de correlação através da aplicação do R^2 .

Resultados e Discussões

4.1. Caracterização da empresa

A empresa estudada atua no setor de medicina laboratorial do Rio Grande do Norte há mais de uma década, possuindo diversas unidades de coleta de material biológico, além de centros analíticos onde são realizados os exames laboratoriais. O estudo foi centrado em uma de suas unidades, situada em Natal, que realiza a coleta e recebe material biológico para um coletivo de mais de mil tipos de exames laboratoriais distintos.

Devido à diversidade de exames ofertados, uma grande variedade de material operacional precisa ser fornecido e armazenado no estabelecimento. Para garantir o abastecimento adequado dos estoques de todas as suas operações, a empresa conta com

um setor de fornecimento de suprimentos, que realiza compra, armazenamento e distribuição de materiais para todas as unidades. Porém, os estoques das unidades são controlados e as solicitações realizadas pelo próprio local, sob responsabilidade do gerente.

Na unidade foco do estudo, a solicitação de materiais era realizada quinzenalmente, sendo precedida por uma contagem do volume em estoque de cada material, realizada pelos próprios colaboradores. O resultado da contagem é posto em uma planilha que calcula o valor sugerido a ser pedido para cada material. Sendo assim, o gerente realiza o pedido se baseando na sugestão presente na planilha, incluindo alterações de acordo com sua percepção.

Quando, no intervalo entre pedidos, é notada a necessidade de solicitação de mais materiais para evitar uma ruptura de estoque, pode ser realizado um pedido extra pelo gerente, no qual ele declara uma motivação dentre as 4 seguintes: “adiantamento”, quando um material, que estava presente no pedido regular, é solicitado no pedido extra por uma antecipação de que ele faltaria antes de o pedido regular seguinte; “aumento de demanda”, quando um pico inesperado gera um risco de ruptura; “correção de solicitação errada”, quando a quantidade solicitada do material for digitada incorretamente e; “esquecimento”, quando houver esquecido de solicitar certo material.

Em meio a esse contexto, foi identificado por lideranças da empresa a ocorrência de um alto volume de pedidos extras provenientes dessa unidade, onerando os custos logísticos da empresa de uma maneira entendida como extraordinária. Por esse motivo, foi solicitado uma avaliação de quais fatores estariam influenciando essa situação.

4.2. Análise dos dados

De acordo com o gráfico presente na figura 2, os dados coletados revelam que, em 2024, foram realizados 69 pedidos extras pelo posto de coleta, resultando em uma média de 5,75 pedidos extras ao mês. Segundo revelado pelos responsáveis pelo processo de fornecimento de materiais, é preestabelecido que a unidade realize um pedido de material por quinzena, o que daria uma média próxima de 2 pedidos regulares por mês.

Figura 2 - Série histórica de pedidos extras da unidade em 2024

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Com isso, pode-se notar que o volume de pedidos extras é, em média, quase o triplo da quantidade de volumes regulares. Tal fato indica um descontrole acentuado na gestão de materiais da empresa, a ponto de o local depender das exceções para manter o pleno funcionamento.

Após conhecer esses dados, foi questionado à liderança da unidade sobre os possíveis fatores que influenciam esse fenômeno. Na ocasião, foi respondido que a principal razão para necessidade de realizar pedidos extras é a volatilidade da demanda, que possui picos inesperados que fazem com que o consumo de certos materiais seja maior que o esperado no momento do pedido. Segundo ele, a unidade realiza um alto volume de

coletas, sendo uma das maiores da empresa, o que faz com que as variações sejam mais frequentes e impactantes.

Também foi perguntado, à liderança, mais detalhes sobre o comportamento da demanda na unidade, podendo ser levantadas as seguintes informações: há um comportamento sazonal bem definido, com uma baixa no volume de exames realizados de dezembro a fevereiro, retomando o crescimento em março. O pico de demanda seria atingido, normalmente, entre julho e novembro, não sendo possível citar um período mais estreito. As informações foram confirmadas pelo responsável pelo fornecimento de materiais da empresa e, com tais hipóteses em mente, seguiu-se a coleta de dados, buscando averiguar se a percepção dos gestores era coerente com os dados históricos do último ano e encontrar outras possíveis causas para a incidência de pedidos extras.

Nessa etapa, foram levantados dados sobre a demanda total do posto e sua distribuição para cada tipo de exame realizado e dados sobre os pedidos extras, incluindo levantamento dos motivos alegados nos pedidos. Por limitações do sistema utilizado pela empresa, não foi possível levantar dados sobre os tipos de materiais que foram solicitados em cada pedido extra. Através desses dados, elaborou-se um gráfico de barras combinado (Figura 2), a partir do qual pôde-se avaliar detalhadamente a correlação entre a demanda total de exames da unidade de coleta e o volume de pedidos extras feitos pela mesma unidade em 2024.

Figura 3 - Gráfico de pedidos extras por motivo x quantidade de exames no ano de 2024

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Partindo para a demanda de exames, o maior volume de pedidos extras se deu em janeiro de 2024, com 9 ocorrências. Entretanto, esse também foi um período de baixa demanda em relação ao resto do ano, em conformidade com a sazonalidade relatada pelas lideranças. Também pode ser notado que março foi o segundo mês com mais pedidos extras (8), tendo dobrado a quantidade do mês anterior. Porém, entre fevereiro e março, houve um aumento de 22,97% na demanda (figura 4), o que pode ter gerado a necessidade de realizar pedidos extras. Entretanto, esse aumento de demanda sazonal foi citado durante as consultas, portanto deveria ser considerado no planejamento das lideranças.

Figura 4 - Gráfico de quantidade de exames e variação da demanda

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Entre abril e junho, por sua vez, houve uma diminuição progressiva na demanda de exames, porém a quantidade de pedidos extras se manteve a mesma, com um valor de 6 pedidos, e, mesmo com um aumento de 23,28% na demanda (maior variação do ano) entre junho e julho, o número de pedidos extras se manteve o mesmo.

Em contrapartida, no mês de dezembro houve uma diminuição de 18,33% na demanda e o número de pedidos extras caiu para 1, menor valor registrado ao longo do ano. Porém, apesar da correlação, foi identificado após investigações que essa variação se deve a uma alteração no período de realização de pedidos regulares: devido à alta quantidade

de pedidos extras, foi instituído que, ao invés de ocorrer quinzenalmente, os pedidos regulares passariam a ocorrer semanalmente.

Ao analisar no gráfico da figura 3 e compará-lo com a figura 4, é perceptível que o motivo mais alegado na realização dos pedidos extras é o de “adiantamento” (35 ocorrências). Em segundo lugar está o “aumento de demanda” (29 ocorrências) e, em terceiro, está o motivo “esquecimento” (3 ocorrências), seguido de “correção de solicitação errada” (2 ocorrências). Isso mostra que a liderança da unidade também comete equívocos na solicitações de materiais, indicando que pode haver um problema no processo de levantamento de estoques ou de pedido de materiais em si.

Para ter uma determinação mais objetiva sobre a interdependência entre a demanda total ou sua variação e a incidência de pedidos extras, foi realizada uma análise de correlação através de Regressão Linear. Os gráficos presentes nas Figuras 5 e 6 demonstram o resultado da análise. Desse modo, os valores de R^2 foram utilizados para identificar a variação da variável resposta em um modelo linear. Em resumo, quando o modelo se aproxima de 0, isso significa que ele não explica a variabilidade dos dados ao redor da linha de tendência, que geralmente é a média. Já quando o modelo se aproxima de 1, indica que há correlação e explicação na variabilidade dos dados.

Figura 5 - Gráfico da correlação entre nº de exames e nº de pedidos extras

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 6 - Gráfico da correlação entre variação da demanda e nº de pedidos extras

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Desse modo, conforme as Figuras 5 e 6, ambos os casos servem como evidência objetiva de que não há correlação entre a demanda total de exames do posto e a quantidade de pedidos extras, resultando em um R^2 de 0,019. No caso da variação mensal e da quantidade de pedidos extras realizados, o R^2 foi de 0,272, indicando que as causas decorrem de falhas na gestão de estoques da empresa.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar se o alto volume de pedidos extras de um laboratório de análises clínicas se devia à volatilidade da demanda ou a falhas na gestão de estoques do estabelecimento. Para avaliar tais hipóteses, foi empregada uma abordagem mista, que envolveu levantamento de informações através de entrevistas e coleta de dados quantitativos dispostos em planilhas. A partir da análise dos dados de 2024 e das entrevistas realizadas com o gerente e outros integrantes da empresa, foi possível identificar um cenário de forte dependência de exceções para garantir o funcionamento do posto, evidenciado pela quantidade média mensal de pedidos extras — quase três vezes superior à de pedidos regulares.

Ainda que tenha havido uma melhora pontual em dezembro, o período foi marcado pela mudança na frequência dos pedidos regulares, passando de quinzenal para semanal. Essa alteração pode apenas ter institucionalizado as exceções, mantendo, aproximadamente, a média de pedidos gerais e, portanto, os custos com a separação, envio e armazenamento dos materiais.

Embora a liderança tenha atribuído essa realidade à volatilidade da demanda, a análise quantitativa demonstrou que não há correlação significativa entre o volume total ou a variação mensal da demanda de exames e a quantidade de pedidos extras. Esse resultado enfraquece a justificativa apresentada e aponta para falhas sistêmicas na gestão de estoques da empresa, que podem estar situadas na previsão de demanda, no controle do consumo ou no processo de contagem e solicitação.

Portanto, conclui-se que a elevada quantidade de pedidos extras está mais relacionada à ausência de um controle eficaz de estoques, da insuficiência no planejamento da demanda e de deficiências no processo de solicitação de materiais do que ao comportamento da demanda. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi atingido, dado que foi possível responder à questão que o norteou, apesar de a falta de qualidade de algumas fontes e a indisponibilidade de alguns dados, como os materiais que foram solicitados em cada pedido, terem limitado o seu escopo e o potencial da análise.

Para melhorar o panorama encontrado, recomenda-se a implementação de um sistema de gestão mais robusto, com previsões baseadas em dados históricos e um reforço nos treinamentos das equipes responsáveis, para garantir a regularidade do levantamento dos estoques e da solicitação de materiais.

Sendo assim, compreende-se que este trabalho contribuiu de forma a apresentar uma metodologia para a análise de problemas relacionados à gestão de estoques em laboratórios de análises clínicas, podendo inspirar trabalhos futuros com temas semelhantes, além de ajudar à própria organização na compreensão de problemas que ocorrem em suas operações e guiá-la a uma tomada de decisão acurada sobre a problemática. Para estudos futuros, sugere-se uma análise dos processos que compõem a gestão de estoques e o fornecimento de materiais e propor melhorias direcionadas a eles

Referências

ALMEIDA, P. P. O.; MOREIRA, R. L. Institucionalização do gerenciamento de estoques no setor público: Um estudo de caso no IFES ? campus Ibatiba. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2014, Natal. Anais ..., 2014. p. 1-15. Disponível em: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3701>>. Acesso em: 08 mai. 2025.

ALTMAN, N.; KRZYWINSKI, M. Points of Significance: Simple linear regression. Nature Methods,

v.12, n.11, p.999-1000, 2015

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: Planejamento organização e logística empresarial.

5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHEIN, F. Introdução aos modelos de regressão linear: um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas. Brasília: Enap, 2019.

LOPES A. R. Planejamento e Controle da Produção: Um Estudo de Caso no Setor de Artigos Esportivos de uma Indústria Manufatureira. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Rio de Janeiro, 2008.

LOPRETE, D., PARINOS, L., PACHECO, L.F., PEREIRA, L.H.B., VENDRAME, P.E.F. Gestão de Estoque e a Importância da Curva ABC. Lins, SP, 2009.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

JACOBS, F. R., BERRY, W. L., WHYBARK, D. C., VOLLMANN, T. E. Manufacturing planning and control for supply chain management. New York: McGrawHill, 2011.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. Administração da produção. 2. ed., rev. aum. e atual. São Paulo: Saraiva, 2005.

MARTINS, P. G. ALT, P. R. C. Administração de materiais e recursos patrimoniais. Saraiva, São Paulo, 2009. 3. ed. rev. e atualizada.

MOREIRA, H; CALEFFE, L. G. Metodologia da pesquisa para o professor pesquisador. 2. ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2008.

MOREIRA, D. A. Administração da produção e operações. Editora Saraiva, 2017.

PRODANOV, C.; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e trabalho científico. 2. ed. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013.

RAMOS, P.; RAMOS, M. M.; BUSNELLO, S. J. Manual prático de metodologia da pesquisa: artigo, resenha, projeto, TCC, monografia, dissertação e tese Blumenau: Acadêmica, 2003.

SLACK, N. et al. Administração da Produção. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. Administração da produção. Atlas, São

Paulo, 2018. 8. Ed.

STOCK, J. H.; WATSON, M. W. Introduction to Econometrics. 3. ed. Addison-Wesley Series in Economics, v. 1. Addison-Wesley, 2010.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

Anexos



Figura 2



Figura 3



Figura 4



Figura 5



Figura 6

CÓDIGO: ET0898

AUTOR: JOAO MARCELO SOARES DA CUNHA

ORIENTADOR: FABIANA VILLELA DA MOTTA

TÍTULO: Obtenção de membranas compósitas flexíveis de PVDF/Bi₂MoO₆ pelo método de eletrofição

Resumo

Neste trabalho, foram obtidas membranas compósitas flexíveis de PVDF/Bi₂MoO₆ pelo método de eletrofição, visando aplicações em processos de fotocatalise e piezofotocatalise para tratamento de efluentes. O Bi₂MoO₆ (BMO) foi sintetizado em sua forma pura e dopado com diferentes concentrações de ferro (1%, 2% e 4%) por método sonoquímico, sendo incorporado ao PVDF para a formação das membranas. A caracterização estrutural por difração de raios X confirmou modificações induzidas pela dopagem, enquanto os ensaios de degradação fotocatalítica mostraram que a presença de Fe melhora o desempenho do BMO, sendo a amostra com 2% de Fe a mais eficiente. Por outro lado, dopagens excessivas reduziram a atividade fotocatalítica, sugerindo recombinação eletrônica acentuada. Os resultados de UV-Vis permitiram estimar a energia de gap óptico, indicando redução progressiva com a dopagem. Assim, as membranas PVDF/BMO obtidas se mostraram promissoras para aplicações ambientais, combinando resistência mecânica, estabilidade química e elevada eficiência fotocatalítica sob radiação visível.

Palavras-chave: fotocatalise, Bi₂MoO₆, PVDF, eletrofição, membrana.

TITLE: Fabrication of flexible PVDF/Bi₂MOO₆ composite membranes by electrospinning

Abstract

In this work, flexible PVDF/Bi₂MoO₆ composite membranes were successfully fabricated by electrospinning, aiming at applications in photocatalysis and piezo-photocatalysis for wastewater treatment. Bi₂MoO₆ (BMO) was synthesized in its pure form and doped with different concentrations of iron (1%, 2% and 4%) by the sonochemical method, then incorporated into PVDF to form the composite membranes. Structural characterization by X-ray diffraction confirmed doping-induced

modifications, while photocatalytic degradation tests demonstrated that Fe doping enhances BMO performance, with the 2% Fe sample showing the highest efficiency. Conversely, Higher doping levels reduced photocatalytic activity due to enhanced electron-hole recombination. UV-Vis analysis allowed estimation of the optical band gap, which decreased progressively with Fe doping. Therefore, the obtained PVDF/BMO membranes proved to be promising materials for environmental applications, combining mechanical strength, chemical stability, and high photocatalytic efficiency under visible light.

Keywords: : photocatalysis, Bi₂MoO₆, PVDF, electrospinning, membrane.

Introdução

A poluição ambiental é um desafio urgente, com impactos diretos sobre ecossistemas e saúde humana. Entre as principais fontes poluidoras estão os efluentes industriais, frequentemente contendo substâncias tóxicas e poluentes orgânicos persistentes. O tratamento adequado desses efluentes é essencial para prevenir danos ambientais e riscos à saúde [1]. Nesse contexto, os processos oxidativos avançados (POAs) surgem como alternativas promissoras. Um exemplo é a fotocatalise heterogênea, que utiliza catalisadores para degradar compostos poluentes [2]. Esse método baseia-se em semicondutores, como o TiO₂, que absorvem luz solar e geram pares elétron/buraco. Essas espécies reativas interagem com os contaminantes, promovendo oxidação e mineralização em produtos menos nocivos [3].

A fotocatalise heterogênea vem ganhando destaque por promover reações químicas a partir da luz, sendo aplicada no tratamento de efluentes. Suas vantagens incluem alta eficiência na degradação de poluentes como corantes, pesticidas, fármacos e compostos tóxicos, além de não gerar subprodutos perigosos, configurando-se como uma alternativa mais sustentável que métodos convencionais [4]. Contudo, ainda existem desafios. A eficiência depende da atividade catalítica, intensidade da radiação, concentração dos contaminantes e condições reacionais. Além disso, fatores como viabilidade industrial e custo de semicondutores podem limitar sua aplicação em larga escala [5-7].

Entre os fotocatalisadores, o Bi₂MoO₆ (BMO) tem se destacado. Sua estrutura do tipo Aurivillius, formada por camadas alternadas, favorece a separação de cargas fotoinduzidas. Também possui banda eletrônica estreita (2,4–2,8 eV), ativa sob radiação visível, fundamental para uso da energia solar [8]. Outras vantagens incluem menor taxa de recombinação elétron-buraco e facilidade de modificação por dopagem e heteroestruturas, ampliando seu desempenho [9].

O fluoreto de polivinilideno (PVDF) é um polímero semicristalino com excelentes propriedades químicas, mecânicas e eletroquímicas. Possui alta estabilidade térmica, resistência a solventes e agentes oxidantes, além de forte polarização dielétrica, útil em separação e dispositivos piezoelétricos [10]. Essas características tornam o PVDF ideal como matriz em membranas compósitas, fornecendo suporte robusto e boa interação com semicondutores.

Quando o BMO é incorporado ao PVDF por eletrofiação, forma-se uma membrana que une a resistência mecânica e estabilidade do PVDF à atividade fotocatalítica do semiconductor, resultando em material promissor para degradação de poluentes sob luz visível [11].

O objetivo deste trabalho é obter e estudar membranas compósitas flexíveis de PVDF/Bi₂MoO₆ produzidas por eletrofiação. Essas membranas combinam nanomateriais fotoativos com a piezoelectricidade do PVDF, possibilitando aplicações em piezofotocatálise. Assim, espera-se que o material colete simultaneamente vibrações mecânicas e energia luminosa, contribuindo para o desenvolvimento de protótipos no tratamento de águas poluídas.

Inicialmente, a síntese do BMO foi proposta pelo método hidrotermal, mas optou-se pela sonoquímica, considerada mais eficiente para os objetivos. A caracterização das membranas será feita por difração de raios X (DRX), espectroscopia UV-Vis e microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo (MEV-FEG).

Metodologia

2.1. Síntese do Bi₂MoO₆:

Foram realizadas cinco sínteses de Bi₂MoO₆: um referente ao material puro e 3 dopadas com ferro (1%, 2% e 4%). Na síntese do BMO puro, preparou-se inicialmente a solução 1, contendo 1,62 g de Bi(NO₃)₃ em 25 mL de água destilada, solubilizada com 7 mL de ácido nítrico. Em paralelo, a solução 2 foi obtida a partir de 0,41 g de Na₂MoO₄ em 25 mL de água destilada. Após completa dissolução na solução 1, adicionou-se a solução 2 sob agitação por 10 minutos. Em seguida, foram incorporados 19,75 mL de hidróxido de amônia para ajuste do pH a 10, mantendo-se a agitação até homogeneização.

As sínteses dopadas seguiram o mesmo procedimento, diferindo apenas pela adição de Fe(NO₃)₃ à solução 1 e ajuste nas proporções de Bi(NO₃)₃, ácido nítrico e hidróxido de amônia. As massas utilizadas para dopagens foram.: 1,61 g de Bi(NO₃)₃ + 0,007 g de Fe(NO₃)₃ para 1% de Fe, 1,59 g de Bi(NO₃)₃ + 0,014 g de Fe(NO₃)₃ para 2% de Fe e 1,56 g de Bi(NO₃)₃ + 0,028 g de Fe(NO₃)₃ para 4% de Fe. Para todas as amostras dopadas, empregaram-se 8 mL de ácido nítrico na solução 1 e 25 mL de hidróxido de amônia para ajuste de pH.

2.2. Método ultrassônico:

Após a preparação, todas as soluções foram submetidas a tratamento em ponteira ultrassônica, operando a 70% da potência por 15 minutos. Em seguida, as amostras foram secas em estufa BF2-ECF-64 a 100 °C por 24 horas. Posteriormente, os sólidos obtidos foram submetidos a calcinação.

2.3. Degradação fotocatalítica:

Foram utilizadas lâmpadas de luz UV para o experimento, e durante todo o processo, as soluções permaneceram sob agitação em uma placa magnética em lugar fechado recebendo apenas como fonte de energia a luz emitida pelas lâmpadas.

2.4. Difração de raios x (DRX)

No equipamento de difração de raios x, foram utilizados os seguintes parâmetros: velocidade de varredura de 5 graus por minuto, cobrindo de 10 a 90 graus, com um eixo de varredura de 2 teta.

Resultados e Discussões

3.1. Análise DRX

Os difratogramas de raios X, apresentados nas figuras 1 ao 4, evidenciam as alterações estruturais no material em função das diferentes concentrações de Fe.

Figura 1: Difração de raios x de BMO Puro

Figura 2: Difração de raios x de BMO 1% Fe

Figura 3: Difração de raios x BMO 2% Fe

Figura 4: Difração de raios x BMO 4% Fe

3.2. Espectroscopia na região do UV-Visível

No gráfico 1, durante o período sem radiação, não foi observada variação significativa de C/C_0 , indicando que não ocorreu degradação apreciável do contaminante na ausência de luz, evidenciando que a adsorção foi desprezível. A fotólise apresentou uma leve redução da concentração, confirmando que a radiação sozinha não é suficiente para promover a degradação eficiente. O catalisador BMO puro apresentou atividade fotocatalítica moderada, mas a dopagem com Fe proporcionou melhora no desempenho, sendo observado que a amostra com 2% de Fe apresentou a maior eficiência na degradação do contaminante. Por outro lado, dopagens mais elevadas, como 4% , resultaram em queda da atividade, o que pode ser atribuído ao excesso de dopante atuando como centro de recombinação de pares elétron/buraco, diminuído a eficiência do processo. Esses resultados sugerem que existe uma concentração ótima de Fe capaz de maximizar a atividade fotocatalítica do BMO.

Gráfico 1: variação da concentração relativa em função do tempo para os diferentes catalisadores e fotólise

A partir da extrapolação linear da região de absorção, nos gráficos do 2 ao 5, foi possível estimar a energia de gap óptico dos materiais. O BMO puro apresentou em torno de 3,27 eV, enquanto a dopagem com ferro resultou em uma diminuição

progressiva deste valor, atingindo em torno de 3,63 eV para 1% Fe, 3,61 eV para 2% Fe e 3,57 para 4% Fe. Essa redução do gap com aumento da concentração de ferro pode ser atribuída à introdução de estados intermediários da banda proibida, favorecendo a absorção de fótons de menor energia.

Gráfico 2: gráfico de Tauc para a amostra BMO Puro

Gráfico 3: gráfico de Tauc para a amostra BMO 1% Fe

Gráfico 4: gráfico de Tauc para a amostra BMO 2% Fe

Gráfico 5: gráfico de Tauc para a amostra BMO 4% Fe

3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura por emissão de campo (MEV-FEG)

Nas figuras de 5 ao 8, são mostradas as morfologias das amostras de BMO puro, 1% Fe, 2% Fe e 4% de Fe.

Figura 5: Morfologias do BMO Puro

Figura 6: Morfologias do BMO 1% Fe

Figura 7: Morfologias do BMO 2% Fe

Figura 8: Morfologias do BMO 4% Fe

Na figura 9, é mostrado as estruturas da membrana formada com o composto pelo método de eletrofiação.

Figura 9: Estrutura das membranas

Conclusão

Neste trabalho, foram obtidas com sucesso membranas compósitas flexíveis de PVDF/Bi₂MoO₆ pelo método de eletrofiação. O fotocatalisador BMO foi sintetizado em sua forma pura e dopado com diferentes concentrações de ferro pelo método sonoquímico. As análises de difração de raios X confirmaram que a dopagem com ferro induziu alterações estruturais no material.

Os testes de degradação fotocatalítica mostraram que a dopagem melhorou o desempenho do BMO puro, com a amostra contendo 2% de Fe demonstrando a maior eficiência na degradação do contaminante. Em contrapartida, a dopagem com 4% de Fe levou a uma diminuição da atividade fotocatalítica, o que sugere que o excesso de dopante pode atuar como centro de recombinação de cargas. A energia de gap óptico dos materiais foi estimada, apresentando um valor de 3,27 eV para o BMO puro e

valores de 3,63 eV, 3,61 eV e 3,57 eV para as amostras dopadas com 1%, 2% e 4% de Fe, respectivamente.

É importante ressaltar que o presente trabalho ainda se encontra em andamento e que caracterizações futuras serão realizadas para complementar a análise. Dentre as análises previstas, destacam-se a medição de ângulo de contato, para avaliar a hidrofiliicidade das membranas, e a obtenção de imagens de MEV-FEG com maior magnificação para uma análise detalhada da morfologia das fibras eletrofiadas.

Referências

- [1] Ong, C. B.; Ng, L. Y.; Mohammad, A. W. A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysis: Synthesis, mechanisms and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 536-551, jan. 2018.
- [2] Cambrussi, A. N. C. O. et al. Photodegradation study of TiO₂ and ZnO in suspension using miniaturized tests. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 24, n. 4, 2019.
- [3] Rueda- Marquez, J. J. et al. A critical review on application of photocatalysis for toxicity reduction of real wastewaters. *Journal of Cleaner production*, v. 258, p. 120694, jun. 2020.
- [4] Zhu, Z.; Xia, H.; Li, H. Boosting photocatalytic degradation efficiency of tetracycline by a visible-light-activated NiMoO₄/g-C₃N₄ heterojunction photocatalyst in the water environment. *Solid State Sciences*, v. 139, p. 107164, maio 2023.
- [5] Y. Zhang, Y. Zhu, Z. Zeng, G. Zeng, R. Xiao, Y. Wang, Y. Hu, L. Tang, C. Feng, Sensors for the environmental pollutant detection: Are we already there?, *Coord. Chem. Ver.* 431 (2021).
- [6] A. Mavhungu, S. Foteins, R. Mbaya, V. Masindi, I. Kortidis, L. Mpenyana-Monyatsi, E. Chatzisyneon, Environmental sustainability of municipal wastewater treatment through struvite precipitation: Influence of operational parameters, *J. Clean. Prod.* 285 (2021) 124856.
- [7] D. Brockmann, Y. Gérard, C. Park, K. Milferstedt, A. Hélias, J. Hamelin, Wastewater Treatment using oxygenic photogranule-based process has lower environmental impact than conventional activated sludge process, *Bioresour. Technol.* 319 (2021).
- [8] Shahad, S.; Shadmin, S.; Et al. A mini review of bismuth molybdate based photocatalysts. *SSRN*, v. 9 (2024)
- [9] Lyu, M.; Wang, C.; Rong, Y.; et al. Advances in modification of Bi₂MoO₆ and its photocatalysis: A review, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 982, 173759 (2024)
- [10] Dallaev, R.; Pisarenko, T.; Sobola, D. Brief Review of PVDF Properties and Applications Potential. *Polymers*, v. 14, 4793 (2022)
- [11] Chabalala, MB.; Gumbi, NN.; Mamba, BB.; et al. Photocatalytic Nanofiber Membranes for the Degradation of Micropollutants and Their Antimicrobial Activity: Recent Advances and Future Prospects. *Basel*, v. 9 (2021)

Anexos



Figura 1: Difração de raios x de BMO Puro



Figura 2: Difração de raios x de BMO 1% Fe



Figura 3: Difração de raios x BMO 2% Fe



Figura 4: Difração de raios x BMO 4% Fe



Gráfico 1: variação da concentração relativa em função do tempo para os diferentes catalisadores e fotólise



Gráfico 2: gráfico de Tauc para a amostra BMO Puro



Gráfico 3: gráfico de Tauc para a amostra BMO 1% Fe



Gráfico 4: gráfico de Tauc para a amostra BMO 2% Fe



Gráfico 5: gráfico de Tauc para a amostra BMO 4% Fe



Figura 5: Morfologias do BMO Puro



Figura 6: Morfologias do BMO 1% Fe



Figura 7: Morfologias do BMO 2% Fe



Figura 8: Morfologias do BMO 4% Fe



Figura 9: Estrutura das membranas

CÓDIGO: ET0924

AUTOR: PATRICK RAFAEL PEREIRA COSTA

ORIENTADOR: ADAILDO GOMES D ASSUNCAO

TÍTULO: Novas Configurações de Antenas Planares para Aplicações em Sensores e Sistemas de Comunicações 5G

Resumo

Este projeto visa investigar novas configurações de ressoadores aplicados à caracterização elétrica de materiais sólidos com foco em aplicações nas áreas de telecomunicações, construção civil, agricultura e saúde. Diferentes tipos de ressoadores foram analisados, tais como Split Ring Resonators (SRR), Complementary Split Ring Resonators (CSRR), estruturas de capacitor interdigital (IDC) e slots em U, a fim de avaliar sua influência na sensibilidade e precisão dos sensores. Para este projeto foi escolhida a configuração Triangular Split Ring Resonator (TSRR), baseada no conceito do SRR convencional. A metodologia envolve prototipagem, simulação e validação experimental, permitindo comparar os resultados obtidos em busca de contribuir para o desenvolvimento de dispositivos de sensoriamento de baixo custo e alta eficiência. O sensor é composto por um patch metálico quadrado, alimentado por uma linha de transmissão de 50Ω , no qual foi inserido o TSRR com o objetivo de aumentar a sensibilidade da estrutura. As simulações foram realizadas no software Ansoft Design HFSS. Em seguida, foram realizadas medições da permissividade elétrica de três materiais dielétricos distintos, analisando o deslocamento da frequência de ressonância do sensor em cada caso.

Palavras-chave: Sensores planares; ressoadores; Triangular Split Ring Resonator; TSRR.

TITLE: New Planar Antenna Configurations for Applications in Sensors and 5G Communications Systems

Abstract

This project aims to investigate new resonator configurations applied to the electrical characterization of solid materials, with potential applications in telecommunications, civil engineering, agriculture, and healthcare. Different types of resonators were analyzed, such as Split Ring Resonators (SRR), Complementary Split Ring Resonators (CSRR), interdigital capacitor (IDC) structures, and U-slots, in order to evaluate their influence on sensor sensitivity and accuracy. For this study, the Triangular Split Ring

Resonator (TSRR), based on the conventional SRR, was selected. The methodology includes prototyping, simulation, and experimental validation to compare the obtained results, contributing to the development of low-cost and high-efficiency sensing devices. The proposed sensor consists of a square metallic patch fed by a 50 Ω transmission line, in which the TSRR was embedded to enhance structural sensitivity. Simulations were carried out using Ansoft Design HFSS, and experimental measurements were performed to determine the dielectric permittivity of three different materials by analyzing the shift in the sensor's resonance frequency.

Keywords: Sensors; resonators; Triangular Split Ring Resonator; TSRR; Dielectric.

Introdução

Os sensores de micro-ondas têm se mostrado ferramentas eficazes para aplicações que exigem medições rápidas, precisas e não destrutivas das propriedades dielétricas de diferentes materiais. A necessidade de caracterizar sólidos e líquidos em setores como agricultura [5–7], saúde [6], indústria de alimentos [7, 11, 12] e construção civil [8–10] impulsionou a busca por soluções compactas e de baixo custo sem comprometer a sensibilidade e a confiabilidade. Nesse contexto, antenas planares e ressoadores constituem alternativas promissoras por apresentarem vantagens como facilidade de fabricação, integração em dispositivos portáteis e funcionamento na faixa de micro-ondas abaixo de 10 GHz [1–4]. Além disso, estruturas como SRR, CSRR e ressonadores de fenda vêm sendo exploradas para ampliar a sensibilidade e permitir a detecção seletiva de diferentes tipos de materiais [9,10]. Diversos estudos recentes têm proposto configurações otimizadas de sensores planares para aplicações específicas, sendo algumas delas: A avaliação da qualidade de produtos agrícolas e alimentícios [5,7], monitoramento de líquidos e soluções [11,12] e a caracterização de materiais de construção [8]. Assim, este projeto busca investigar diferentes topologias de sensores planares, avaliando suas respostas em frequência e desempenho em cenários práticos, de modo a oferecer avanços e contribuir com o desenvolvimento de novas topologias.

O princípio de funcionamento dos sensores planares de micro-ondas está baseado na interação do campo eletromagnético do dispositivo com o material sob teste (Material Under Test – MUT). Essa interação provoca variações na resposta em frequência do sensor, como mudanças na frequência de ressonância e no coeficiente de transmissão/reflexão, que podem ser relacionadas às propriedades dielétricas do material.

As antenas planares como monopolos de microfita, Planar Inverted-F Antennas (PIFA) e guias coplanares (CPW), são amplamente utilizadas devido à sua geometria compacta e desempenho em larga faixa de frequências [1–4]. Nos sensores, essas estruturas podem ser adaptadas para atuar como ressoadores explorando sua sensibilidade às variações dielétricas.

A resposta em frequência dos sensores depende diretamente do tipo de ressonador empregado. Os principais tipos incluem:

- SRR (Split Ring Resonator): apresenta alta seletividade e pode introduzir bandas de rejeição controladas [1,2].
- CSRR (Complementary Split Ring Resonator): utilizado em sensores de caracterização dielétrica, com destaque para medidas de solo e líquidos [10].
- IDC (Interdigital Capacitor): explora capacitâncias distribuídas para maior sensibilidade a pequenas variações de permissividade.
- Meander-line e fendas em U: permitem compactação da estrutura e ajuste da frequência de operação [3].

O Split Ring Resonator (SRR), o qual usaremos como referência, é uma estrutura que apresenta uma frequência de ressonância característica, determinada principalmente pela sua geometria e pelo dielétrico em que está impresso, ex: FR-4. Quando a resposta do S11 é medida em função da frequência com o analisador de redes (VNA), observa-se a ocorrência de uma queda acentuada no seu valor, o que permite obter a frequência de ressonância f_0 .

Metodologia

Quando o material é colocado em cima do TSRR, sendo os usados no experimento: baquelite, acrílico e FR-4, esses materiais interagem com o campo eletromagnético confinado no ressoador. temos os seguintes efeitos:

- O TSRR funciona como um circuito LC ressonante (L = anel metálico em forma triângulos, C = capacitância, espaços entre as fendas).
- A presença de um material dielétrico altera a capacitância efetiva do sistema.

Um ressoador, seja ele elétrico (circuito RLC) ou eletromagnético (como TSRR, CSRR, cavidades), pode ser modelado como um circuito indutor-capacitor (LC).

A frequência de ressonância é dada por: $f_0 = 1 / 2\pi \cdot \text{raiz}(LC)$. (um sobre duas vezes pi vezes raiz quadrada da indutância vezes a capacitância)

Se o MUT tem permissividade relativa alta (ϵ_r), a capacitância aumenta e como a fórmula de f_0 tem raiz(LC) no denominador, se C aumenta, então f_0 diminui (a ressonância desloca para frequências mais baixas).

No projeto do sensor, foi utilizada a estrutura de um ressonador Triangular Split Ring Resonator (TSRR), mostrado na Figura 1(a), cuja geometria foi idealizada a partir da estrutura do Split Ring Resonator SRR) [1]. O circuito equivalente do TSRR está mostrado na Figura 1(b).

ESTRUTURA DO SENSOR E ANÁLISE

Neste trabalho, o desenvolvimento de um sensor planar com um TSRR é iniciado com o projeto de uma antena de microfita de patch quadrada para operação na frequência desejada (f_0). Efetuado o projeto para $f_0 = 3$ GHz, observou-se a necessidade de melhorar o casamento de impedância da porta de entrada da antena, pois o coeficiente de reflexão (S_{11}) obtido foi superior a -10 dB como mostrado na Figura 2 (linha vermelha), na frequência desejada não era adequado. Com a inserção do TSRR, observou-se que a frequência de ressonância do sensor foi ligeiramente deslocada para $f_0 = 3,1$ GHz, mas com o coeficiente de reflexão (S_{11}) inferior a -10 dB, como mostrado na Figura 2, características favoráveis ao desenvolvimento de sensores.

A geometria é mostrada na Figura 3, sobre um substrato dielétrico FR-4 (fibra de vidro), com permissividade relativa $\epsilon_r = 4.4$ e espessura $h = 1,57$ mm, sendo alimentado por uma linha de transmissão de 50Ω . Foram utilizadas as expressões aproximadas da indutância L_c apresentadas em [6, 7] e as expressões da capacitância C_c mostradas em [8]. As dimensões do TSRR estão apresentadas na Tabela 1 e indicadas na Figura 3.

A Figura 6 mostra a estrutura TSRR proposta juntamente com as amostras de FR-4, Acrílico e Baquelite, dispostas da esquerda para a direita. As medições do parâmetro S_{11} em frequência foram efetuadas com um analisador vetorial de redes portátil (VNA).

Resultados e Discussões

Foram utilizadas três amostras de MUT (FR-4, baquelite e acrílico), todas com dimensões idênticas de $(25 \times 25 \times 3)$ mm, posicionadas sobre o sensor. A Figura 4 apresenta a resposta em frequência do coeficiente de transmissão (S_{11}) para cada uma dessas amostras e a Tabela 2 os valores de suas frequências de ressonâncias.

A Figura 5 apresenta a curva de calibração obtida a partir dos resultados simulados para amostras de MUT com diferentes permissividades relativas. É possível observar que a relação entre a frequência de ressonância e a permissividade relativa não é linear: o sensor apresenta maior variação de frequência para materiais de baixa constante dielétrica, tendendo a uma saturação à medida que ϵ_r aumenta.

A curva mostrada na Figura 5 foi a que melhor se ajustou aos dados, resultando na equação: $\epsilon_r = -523.81 \cdot f_r^2 + 3153.81 \cdot f_r - 4742.74$. (1)

Conforme mostrado na Figura 7, a frequência do ressonador é deslocada porque o seu campo elétrico interage com o material colocado sobre ele. O campo concentrado na fenda do TSRR penetra no MUT e isso altera a energia armazenada no campo elétrico, que por consequência, altera a capacitância efetiva. O resultado é uma mudança da frequência de ressonância observada no analisador VNA.

A sensibilidade do sensor está diretamente associada à intensidade da interação entre o campo eletromagnético confinado e o MUT. Estruturas ressoantes de alta fator-Q permitem maior resolução na detecção de pequenas variações dielétricas, sendo cruciais para aplicações que exigem precisão, como a detecção de adulteração em alimentos ou monitoramento de água em solos [6,10,12].

Em seguida, por meio da Equação (1), é possível determinar a permissividade relativa para cada amostra de MUT medida. Os resultados calculados são apresentados na Tabela 3 para comparação com resultados disponíveis na literatura.

Os resultados obtidos do FR-4 e do Acrílico foram o esperado de acordo com artigos e periódicos, já o Baquelite está na faixa esperada da literatura. Dessa forma, foi testada a validade e funcionalidade da estrutura como um sensor ressoante. Isso confirma a adequação do sensor TSRR projetado para a função a que se propõe.

O dispositivo demonstrou capacidade de determinar a constante dielétrica de diferentes materiais e, com base nesse parâmetro, caracterizar o MUT (Material Under Test). Sensores dessa categoria são comumente empregados na medição de umidade, detecção de contaminação em alimentos e monitoramento de água, entre outras aplicações.

Conclusão

Foi apresentada uma estrutura de sensor planar desenvolvida para caracterização de materiais dielétricos, baseada na inserção de um TSRR com design próprio, em um patch metálico de microfita. O funcionamento do sensor depende da alteração da frequência ressonante provocada pela presença de amostras de MUT na região do ressoador.

O objetivo era testar a funcionalidade do TSRR em simulações complementadas por um modelo matemático(1) que permitiram estimar a permissividade relativa do MUT a partir da variação de frequência ressonante observada.

A validação experimental realizada com três materiais dielétricos de constante conhecida, revelou excelente concordância entre resultados simulados e medidos, além de comprovar a eficácia do TSRR desenvolvido. Dessa forma, o sensor proposto e desenvolvido no laboratório de telecomunicações da UFRN se mostra promissor para aplicações de detecção, apresentando características de baixo custo, operação não invasiva, alta sensibilidade e formato compacto.

Referências

- [1] D.B. Brito, X. Begaud, A.G. D'Assunção e H.C.C. Fernandes, Ultra wideband monopole antenna with Split Ring Resonator for notching frequencies, Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation, Barcelona, Spain, 2010, pp. 1-5.
- [2] A. Abbas, N. Hussain, M.-J. Jeong, J. Park, K.S. Shin, T. Kim e N. Kim, A Rectangular Notch-Band UWB Antenna with Controllable Notched Bandwidth and Centre Frequency. *Sensors* 2020, 20, 777.
- [3] Y. Wang, T. Huang, D. Ma, P. Shen, J. Hu and W. Wu, Ultra-wideband (UWB) Monopole Antenna with Dual Notched Bands by Combining Electromagnetic-Bandgap (EBG) and Slot Structures, 2019 IEEE MTT-S International Microwave Biomedical Conference (IMBioC), Nanjing, China, 2019, pp. 1-3.
- [4] S. Costanzo e A. M. Qureshi. Compact and wideband PIFA design for wireless body area sensor networks, *Electronics* 10, no. 21: 2576, 2021.
- [5] S. Trabelsi e S.O. Nelson, Microwave sensing of quality attributes of agricultural and food products. *IEEE Instrum. Meas. Mag.* 2016, 19(1), 36-41.
- [6] R. Kumari, P.N. Patel e R. Yadav, An ENG-inspired microwave sensor and functional technique for label-free detection of aspergillus niger. *IEEE Sens. J.* 2018, 18, 3932-3939.
- [7] Jilani, M.T.; Wen, W.P.; Cheong, L.Y. e Rehman, M.Z.U., A Microwave ring-resonator sensor for non-invasive assessment of meat aging. *Sensors* 2016, 16, 52.
- [8] J.G.D. Oliveira, J.G. Duarte Junior, E.N.M.G. Pinto; V.P. Silva Neto e A.G. D'Assunção, A new planar microwave sensor for building materials complex permittivity characterization. *Sensors*, v. 20, p. 6328, 2020.
- [9] J. G. D. Oliveira, S. B. Paiva, L. F. V. T. Costa, V.P.Silva Neto e A.G. D'Assunção, Bio-inspired Sensor for the electrical permittivity characterization of dielectric materials. 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2020), Copenhagen, Dinamarca, 2020, 1-4.
- [10] J.G.D. Oliveira, E.N.M.G. Pinto, V.P. Silva Neto e A.G. D'Assunção, CSRR-based microwave sensor for dielectric materials characterization applied to soil water content determination. *Sensors* 2020, 20(1), 255.
- [11] Z. Wei, J. Huang, J. Li, G. Xu, Z. Ju, X. Liu e X. Ni, A High-sensitivity microfluidic sensor based on a substrate integrated waveguide re-entrant cavity for complex permittivity measurement of liquids. *Sensors* 2018, 18(11), 4005, 2018.
- [12] Deshpande, Manohar & Dudley, Kenneth. (2003). Estimation of Complex Permittivity of Composite Multilayer Material at Microwave Frequency Using Waveguide Measurements.

[13] Ji Hoon Park, D.K. Hwang, Jiyoul Lee, Seongil Im, Eugene Kim, Studies on poly(methyl methacrylate) dielectric layer for field effect transistor: Influence of polymer

Anexos



Figura 1: a) TSRR e b) circuito equivalente



Figura 2: Patch com (azul) e sem (vermelho) o TSRR



Figura 3: Estrutura do TSRR



Tabela 1: Dimensões do sensor



Figura 6: a) Modelo do sensor e b) Sensor + TSRR e amostras



Figura 4: Frequência das Amostras



Tabela 2: Frequência de ressonância das amostras



Figura 5: sensibilidade



Equação (1)



Figura 7: Frequências do sensor com as amostras



Tabela 3: Comparações de resultados da permissividade

CÓDIGO: ET0927

AUTOR: OTÁVIO AUGUSTO CUNHA BARBOSA

ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO TRABUCO DOREA

TÍTULO: Projeto e Simulação de Controladores para Sistemas com Atraso sob Restrições

Resumo

Sistemas dinâmicos com atraso apresentam desafios adicionais de controle devido à dependência de estados passados. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a implementação de uma estratégia de controle baseada em conjuntos poliédricos invariantes para o sistema de tanques acoplados da Quanser, incorporando atraso na entrada e restrições de saturação. O modelo foi obtido a partir da linearização em torno de um ponto de equilíbrio, seguido de discretização e reformulação em estados expandidos. A síntese dos ganhos de controle foi realizada por meio do solucionador não linear KNITRO, que permitiu a obtenção de poliedros invariantes associados a diferentes valores de contração λ . Os controladores foram avaliados em simulações no ambiente MATLAB/Simulink e, posteriormente, implementados na planta física. Três cenários foram considerados: controle único, controle com chaveamento de ganhos e controle com saturação. Os resultados demonstraram que o controle único apresenta comportamento conservador, o chaveamento reduz o tempo de estabilização e a inclusão da saturação aumenta a rapidez da resposta sem violar os limites da bomba. A abordagem proposta amplia trabalhos anteriores ao validar experimentalmente o uso de invariância poliedral em sistemas com atraso e saturação, evidenciando suas potencialidades e limitações práticas.

Palavras-chave: Sistemas; atraso; Tanques acoplados; Saturação; Implementação.

TITLE: Controller Design and Simulation for Delay-Constrained Systems

Abstract

Time-delay dynamic systems pose additional control challenges due to their dependence on past states. This work presents the development and implementation of a control strategy based on invariant polyhedral sets for the Quanser coupled-tank system, incorporating input delays and actuator saturation constraints. The model was derived through linearization around an equilibrium point, followed by discretization and reformulation in augmented states. The control gains were synthesized using the nonlinear solver KNITRO, which enabled the computation of invariant polyhedron associated with different contraction factors λ . The controllers were evaluated through MATLAB/Simulink simulations and subsequently implemented in the physical plant. Three scenarios were considered: single-gain control, gain-scheduled control, and saturated control. The results demonstrated that the single-gain control exhibits conservative behavior, the gain-scheduled approach reduces the settling time, and the inclusion of saturation increases the speed of the response without violating the pump's operating limits. The proposed approach extends previous work by experimentally validating the use of polyhedral invariance in systems with delay and saturation, highlighting both its potential and its practical limitations.

Keywords: Time-delay systems; Coupled tanks; Saturation; Implementation.

Introdução

O atraso é um fenômeno presente em diversos sistemas dinâmicos e pode ser causado pelo transporte de energia, massa ou informação, além de tempos de processamento e atrasos de comunicação entre sistemas conectados em série. Sistemas com atraso apresentam desafios adicionais para o projeto de controle, pois os efeitos de perturbações, ações de controle e erros de rastreamento são observados somente após o tempo de retardo (Normey-Rico and Camacho, 2007).

Exemplos clássicos onde o atraso impacta significativamente a dinâmica incluem: centrais de aquecimento de água em edifícios, processos com comunicação a longas distâncias e sistemas industriais sujeitos a medições e atuadores com atraso (Normey-Rico and Camacho, 2007).

Sistemas com atraso na entrada ou na saída exigem abordagens de controle mais complexas. No caso de sistemas em tempo discreto, esses podem ser modelados por equações de diferenças com atraso de dimensão finita (dDDEs), conforme apresentado por Dórea et al. (2023). . Nesses modelos, a análise de invariância positiva é afetada pelo atraso, uma vez que as condições iniciais passam a depender da trajetória dos estados atrasados, o que torna a definição clássica conservadora para alguns casos (Dórea et al., 2023).

A abordagem baseada em conjuntos invariantes tem sido útil para o tratamento de sistemas lineares com restrições de estado e controle (Rodrigues et al., 2025). Em particular, o uso de funções de Lyapunov poliédricas (PLF) permite a caracterização de conjuntos invariantes por meio de desigualdades lineares ou bilineares, possibilitando o projeto de controladores que respeitam restrições físicas do sistema (Brião et al., 2018).

No trabalho de Rodrigues et al. (2025), foi implementado um controlador de realimentação de saída para rastreamento de referência em um sistema de tanques acoplados, utilizando conjuntos poliédricos invariantes controláveis por realimentação de saída (OFCI). Para o projeto do controlador, o sistema foi previamente linearizado em torno de um ponto de equilíbrio e, em seguida, discretizado, possibilitando a aplicação das técnicas de controle em tempo discreto. A estratégia proposta considera as restrições de estado e de controle, mas assume uma planta sem atrasos na entrada ou na saída.

Dando continuidade a essa linha de pesquisa, o presente trabalho propõe uma extensão da abordagem de Rodrigues et al. (2025), incorporando a presença de atraso na entrada do sistema, o que representa uma condição prática frequentemente encontrada em aplicações reais, mas não considerada na formulação original.

Mantém-se a estrutura de controle baseada em conjuntos poliédricos invariantes e a modelagem em tempo discreto, mas adapta-se a formulação para lidar com os desafios trazidos pela dinâmica com atraso por meio da realimentação da entrada atrasada no sistema. Para isso, adota-se a representação do sistema em forma de dDDEs, conforme apresentado em Dórea et al. (2023), permitindo a aplicação de técnicas de análise de invariância dependentes do atraso.

Além disso, a síntese dos ganhos de controle é realizada utilizando o KNITRO, um solucionador de otimização não linear adequado ao tratamento de equações bilineares envolvendo as variáveis do projeto, conforme discutido em (Brião et al., 2018).

A proposta é validada por meio de simulações no ambiente MATLAB/Simulink, seguidas de implementação prática no sistema de tanques acoplados da Quanser, ampliando o escopo da análise anterior e evidenciando as limitações e adaptações necessárias para lidar com a presença do atraso na planta real.

Metodologia

O sistema de tanques acoplados é representado por um modelo linear capaz de descrever sua dinâmica e permitir o controle do nível do segundo tanque. O ponto de partida é o sistema linear discreto com atraso na entrada, descrito pela seguinte equação de diferenças:

VER ANEXO EQUAÇÃO 1

Na equação (1), $x(k) \in \mathbb{R}^n$ representa o vetor de estados, $u(k) \in \mathbb{R}$ representa o sinal de entrada e $d \in \mathbb{Z}_{*+}$ é o atraso do sistema (Dórea et al., 2023). Esse modelo será usado

considerando uma realimentação de estado, de forma que a lei de controle pode ser expressa como:

VER ANEXO EQUAÇÃO 2

Substituindo (2) em (1), obtém-se:

VER ANEXO EQUAÇÃO 3

O trabalho de Dórea et al. (2023) apresenta uma transformação que facilita a análise da invariância positiva introduzindo uma variável auxiliar $K \in \mathbb{R}^{n \times n}$. Com essa transformação, o sistema é reescrito como:

VER ANEXO EQUAÇÃO 4

Essa formulação separa explicitamente as parcelas independentes e dependentes do atraso. O conjunto de estados admissíveis é descrito por um poliedro convexo: $\Omega = \{x \in \mathbb{R}^n \mid Fx \leq w\}$, com $F \in \mathbb{R}^{f \times n}$, $w \in \mathbb{R}^f$ e $w > 0$.

Segundo (Dórea et al., 2023), o conjunto Ω é positivamente invariante em relação ao sistema definido na equação (4) se, e somente se, existirem as matrizes não negativas

$H, L, M, N \in \mathbb{R}^{f \times f}$, que satisfaçam:

VER ANEXO EQUAÇÃO 6-9

Até este ponto, o modelo foi tratado considerando controle sem saturação. Para incluir o efeito de saturação na entrada, a realimentação passa a ser:

VER ANEXO EQUAÇÃO 10

A função de saturação é definida como:

VER ANEXO EQUAÇÃO 11

em que $u_{\min}$ e $u_{\max}$ são os limites de saturação da planta. Para adaptar as condições (5)-(9) à presença de saturação, foi usado o modelo politópico II apresentado em (Tarbouriech

et al., 2011), que representa o sistema (1) sob a lei de controle saturado (10) como um sistema sujeito a incertezas do tipo politópicas.

Essa consideração modifica as definições das matrizes associadas ao poliedro Ω , que passam a ser $H, L1, L2, M, N1, N2 \in \mathbb{R}^f \times f$, satisfazendo:

VER ANEXO EQUAÇÃO 12-17

A desigualdade (9), válida para o caso sem saturação, é substituída por um conjunto de desigualdades, considerando a combinação linear de $N1$ e $N2$ e a duplicidade decorrente de $L1$ e $L2$.

Para $d = 1$, pode-se definir o conjunto de desigualdades como sendo:

VER ANEXO EQUAÇÃO 18-19

Enquanto que para $d = 2$:

VER ANEXO EQUAÇÃO 20-26

Resultados e Discussões

A aplicação do controle no sistema de tanques acoplados segue o modelo dinâmico especificado no manual técnico da Quanser (Quanser Inc., 2015), considerando a configuração de controle de nível do segundo tanque descrita na seção Tank 2 Level Control do material experimental (Apkarian et al., 2013). Nesta configuração, a bomba envia água ao primeiro tanque, cujo escoamento através do orifício de saída alimenta o segundo tanque. A Figura 1 apresenta o modelo físico disponível no laboratório da UFRN, utilizado nos testes experimentais de implementação.

A implementação do controle requer etapas prévias: modelagem e discretização da planta, obtenção do conjunto de condições iniciais para testes, determinação de um poliedro que satisfaça as condições de invariância e a implementação do controlador no Simulink. Além disso, a planta será trabalhada com atraso de 2 amostras para facilitar os cálculos e exemplificações do processo em diante.

3.1 Discretização da Planta

O controle atua sobre a tensão aplicada à bomba, responsável por alimentar o primeiro tanque. Parte da água escoar para o segundo tanque, cujo nível é a variável de saída controlada.

Com base na Lei de Bernoulli e no balanço de massas (Rodrigues et al., 2025), o modelo contínuo da planta é descrito por:

VER ANEXO EQUAÇÃO 27-29

em que $h_1(t)$ e $h_2(t)$ representam os níveis de água nos tanques 1 e 2, respectivamente; $v(t)$ é a tensão aplicada à bomba; A_1 e A_2 são as áreas das seções transversais dos tanques; a_1 e a_2 são as áreas dos orifícios de saída; e k_m é a constante que relaciona o fluxo da bomba à tensão aplicada (Rodrigues et al., 2025).

Os parâmetros A_i , a_i e k_m podem ser obtidos diretamente do manual da Quanser (Quanser Inc., 2015). A presença da raiz quadrada nos termos dependentes de $h_1(t)$ e $h_2(t)$ introduz uma não linearidade, que é tratada por linearização em torno de um ponto de equilíbrio, conforme descrito em (Apkarian et al., 2013). Neste trabalho, adota-se

$h_{10} = h_{20} = 14$ cm e $v_0 = 2$ V como ponto de equilíbrio. De acordo com (Rodrigues et al., 2025), a forma linearizada em espaço de estados é:

VER ANEXO EQUAÇÃO 30-31

em que $x_1 = h_1(t) - h_{10}$ e $x_2 = h_2(t) - h_{20}$ representam as variações em relação ao ponto de equilíbrio.

Substituindo $A_1 = A_2 = 15.5179$ cm², $a_1 = a_2 = 0.1781$ cm², $km = 6.25$ cm³/Vs e $h_{10} = h_{20} = 14$ cm em (30), obtém-se:

VER ANEXO EQUAÇÃO 32

Como o controle será implementado em tempo discreto para um passo de amostragem de 0,5 segundos, aplica-se o método do segurador de ordem zero (zero-order hold) via função `c2d()` do Matlab, resultando no modelo:

VER ANEXO EQUAÇÃO 33

3.2 Encontrando as Condições Iniciais do sistema

Os sistemas de controle são modelados como apresentados em (1). Esse modelo traz consigo o vetor $x(k)$ que representa os estados do sistema. Dessa forma, as condições iniciais devem respeitar a condição de $x(0) \in \Omega$, visto que $x(k) \in \lambda\Omega$, $\forall k \in \mathbb{Z}^+$.

As condições iniciais são importantes por definir os pontos de partida do sistema que estabilizam o controle e que estejam inseridas dentro do poliedro, encontrado por meio da otimização do KNITRO. Logo, antes de realizar as implementações, é necessário encontrar esse conjunto de condições aceitáveis para o sistema.

Dórea et al. (2024) apresentam o uso de um sistema de matriz expandido utilizado para encontrar o poliedro que representa as condições iniciais do sistema. A representação aumentada do sistema possui uma relação com o atraso, onde, para um atraso $d = 2$ o modelo do sistema passa a ser definido como:

VER ANEXO EQUAÇÃO 34

onde, de acordo com (Dorea et al., 2024) existe um poliedro invariante para o espaço do sistema aumentado definido por:

VER ANEXO EQUAÇÃO 35

Dessa forma, ao representar o sistema de tanques no espaço aumentado será possível encontrar um poliedro definido por um conjunto de vértices equivalente às condições iniciais admissíveis para o problema.

3.3 Obtenção do Poliedro Invariante no Tempo

A transformação do modelo para uma formulação baseada em conjuntos invariantes no tempo permite a análise por meio de propriedades algébricas associadas a poliedros convexos, conforme descrito em (Brião et al., 2018). No entanto, essa abordagem resulta em restrições matriciais e múltiplas variáveis de decisão, caracterizando um problema de otimização não linear.

Neste trabalho, utiliza-se o solucionador de otimização não linear KNITRO, o qual, embora não garanta encontrar a solução ótima global, é capaz de fornecer soluções ótimas locais para problemas bilineares como o encontrado nos produtos matriciais que definem o conjunto Ω (Brião et al., 2018).

A invariância positiva do poliedro Ω , sem considerar a saturação no atuador, pode ser formulada, conforme (Dórea et al., 2023), como o seguinte problema de otimização linear:

VER ANEXO EQUAÇÃO 36

em que $0 \leq \lambda \leq 1$ é um escalar que define a taxa de contração do poliedro em relação ao limite máximo admissível no espaço de estados. Em termos práticos, um conjunto $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ é positivamente invariante se, dado o atraso d do sistema, as condições iniciais $x(i) \in \Omega$, $i \in$

$\mathbb{Z}[-d, 0]$ implicarem que $x(k) \in \lambda\Omega$, $\forall k \in \mathbb{Z}^+$. Os resultados obtidos mostram que o KNITRO é capaz de encontrar poliedros que satisfazem as condições de invariância, como exemplificado na Figura 2. Nesse caso, a solução obtida para $\lambda = 0.99$ apresenta uma área de atuação restrita se comparado ao espaço máximo de atuação definido pelos limites do gráfico. O ganho $G = [-0.079790515080 \ -0.083648998147]$ que promovem um controle mais conservador.

Para melhorar o ganho do sistema, foi adotada a estratégia de fixar d e λ durante a otimização. Neste estudo, o atraso foi fixado em $d = 2$ e λ variou de 0.99 até o menor valor que estabiliza o sistema. Os resultados, apresentados na Figura 3, mostram que $\lambda \in [0.99, 0.95]$ resultou em ganhos maiores e poliedros com menor área em comparação ao caso anterior.

Considerando o chaveamento de ganhos, os poliedros de $\lambda = 0.99$ e $\lambda = 0.95$ foram combinados, atribuindo-se ganhos $G_{0.99} = [-0.079790515080 \ -0.083648998147]$ e $G_{0.95} = [-0.298325623060 \ -0.148366483920]$. Essa estratégia reduziu o tempo de estabilização em 25 amostras em comparação ao controle com ganho único que estabilizou por volta de 82 amostras, como pode ser visualizado na Figura 4, para a condição inicial sendo $x(0) = [-13.7127 \ 13.7127]$, $x(-1) = [11.2869 \ 14.0056]$ e $x(-2) = [-11.2869 \ -14.0056]$.

Quando o chaveamento é ativado, a magnitude da entrada aumenta momentaneamente, permitindo maior rapidez na convergência, embora o tempo de estabilização ainda possa ser mais rápido.

Ao incluir a saturação na entrada, as condições de otimização passam a seguir as equações (12)–(26), mantendo d e λ fixos. Para $d = 2$ e $\lambda = 0.99$, obteve-se o poliedro da

Figura 5, com ganho $G_{sat} = [-0.941922681775 \ -0.468311012369]$ superior aos anteriores.

Esse ganho mais elevado proporciona uma resposta mais rápida, respeitando os limites de operação do sistema. A Figura 6 mostra que a trajetória dos estados permanece dentro do poliedro, com valores de entrada elevados inicialmente, mas limitados ao intervalo $[-2, 2]$.

Para a condição inicial de $x(0) = [-12.0689 \ -14.0056]$, $x(-1) = [-14.0056 \ -13.2909]$ e $x(-2) = [14.0056 \ -3.5490]$, que mantém a planta em condições semelhantes ao do controle anterior, se analisado as trajetórias dos estados. Dessa forma, pode-se analisar que o ganho de amostras na estabilização para o controlador saturado em comparação com o chaveamento é por volta de 23 amostras, enquanto que para o controle único a diferença está em torno de 48 amostras.

Na simulação, observa-se que a saturação permite explorar os limites do sistema para alcançar rápida convergência e estabilização, além de ampliar a região de condições iniciais admissíveis para a planta.

3.4 Implementação do Controle na Planta Física

A implementação foi realizada no sistema de tanques acoplados da Quanser. Esse sistema é composto por dois tanques cilíndricos, uma bomba, um reservatório de água e sensores de pressão em cada tanque. O controle da planta foi desenvolvido no ambiente Simulink (versão 2015), compatível com o equipamento disponível no laboratório da UFRN. Utilizou-se o bloco fornecido pela própria Quanser, responsável por receber a entrada (tensão aplicada à bomba) e disponibilizar as saídas (níveis dos tanques), como ilustrado na Figura 7.

A saída do bloco é baseada no sinal gerado pelos sensores de pressão, que convertem a pressão da coluna de água em um sinal digital entre 0 e 5 V. A partir da sensibilidade dos sensores, o bloco da Quanser realiza a conversão linear desses valores digitais para os correspondentes em centímetros de coluna de água, como descrito no manual do fabricante Quanser Inc. (2012) e exemplificado na Figura 8.

A tensão de entrada para a bomba deve permanecer no intervalo de $[-4, 4]$ V. Isso ocorre porque o sistema utiliza um amplificador interno, com ganho 3, que converte esse intervalo para $[-12, 12]$ V, faixa necessária para o acionamento adequado da bomba Quanser Inc. (2012).

A planta real não apresenta atrasos significativos relacionados à resposta dos sensores, à bomba ou ao escoamento da água. Para contemplar esse aspecto no estudo, foi utilizado o bloco de atraso do Simulink (Figura 9), que insere artificialmente um atraso discreto de uma amostra no sistema.

Para trabalhar com atrasos de ordem 2 é necessário utilizar dois blocos de atraso em série, como pode ser visto na Figura 10. Nessa representação, pode-se analisar que, para a planta ao receber a entrada constante, a sua resposta será dividida em amostras de tempos distintos.

Para representar atrasos de ordem dois, dois blocos foram conectados em série, conforme mostrado na Figura 10. Essa configuração faz com que a resposta do sistema a uma entrada constante seja dividida em amostras defasadas temporalmente.

A Figura 11 mostra a resposta do tanque 1 frente à implementação dos atrasos. Essa abordagem foi utilizada como base para a implementação dos diferentes controladores.

Outro ponto importante é a definição das condições iniciais do sistema, que devem estar contidas no poliedro invariante $Fx \leq w$. Para isso, utilizou-se a matriz F , obtida pelo KNITRO, para construir um bloco customizado no Simulink responsável por verificar a condição de pertencimento. Somente após a satisfação dessa condição, o degrau de entrada é suprimido, permitindo a aplicação do controle, como ilustrado na Figura 12.

O bloco `conditionsToVector` foi desenvolvido para agrupar os estados da planta em um vetor de estados expandidos, conforme apresentado em 34, com valores normalizados pela subtração de 14, que corresponde ao ponto de equilíbrio. Esse vetor é utilizado juntamente com a matriz que define o poliedro, a fim de realizar o teste de pertencimento do estado atual. A saída assume valor igual a 1 quando o vetor pertence ao poliedro e 0 caso contrário. Além disso, a saída $u0$ corresponde ao vetor de estados criado, o qual pode ser utilizado como condição inicial para o controlador.

Vale destacar que o chaveamento entre a saída do bloco de controle e a saída $u0$ utiliza o ganho do controlador calculado para ambas as situações. Isso ocorre porque, enquanto a planta não apresenta uma condição inicial pertencente ao poliedro, o programa calcula diretamente as condições iniciais. Somente após essa etapa ocorre o chaveamento, e o controle passa a ser aplicado. Essa solução foi necessária devido à impossibilidade de se inserir condições iniciais de forma explícita na implementação.

Os resultados da implementação confirmam o comportamento previsto nas simulações. A Figura 13 mostra que, para o controle único sem saturação, os níveis dos tanques convergem lentamente para o ponto de equilíbrio, sendo necessário mais do que 100 segundos de atuação para a estabilização.

A entrada aplicada nesse caso é apresentada na Figura 14. Observa-se que o sinal de controle ajusta-se em torno do valor de referência (2 V), aumentando ou reduzindo a tensão até atingir o equilíbrio.

Na técnica de chaveamento, duas matrizes F distintas, obtidas com diferentes valores de λ , foram utilizadas. O sistema verifica o pertencimento do estado a cada poliedro: inicialmente, aplica-se um degrau; em seguida, ao ingressar no primeiro poliedro, utiliza-se um controle mais lento; e, por fim, ao entrar em um poliedro menor, o controle é chaveado para um ganho mais rápido (Figura 15).

Nesse diagrama, foi utilizada a mesma lógica de teste de pertencimento dos estados da planta ao poliedro para realizar o chaveamento dos ganhos. Cada bloco `conditionsToVector` é responsável por verificar o pertencimento a um poliedro específico, enquanto os blocos de chaveamento alternam os ganhos do controle de acordo com a região onde a condição inicial se encontra.

Esse mecanismo resulta em uma convergência mais rápida, conforme indicado na Figura 16, estabilizando o primeiro tanque por volta de 300 segundos e o segundo tanque por volta de 390 segundos.

Na entrada (Figura 17), o chaveamento se reflete em picos de tensão, que ocorrem no momento da transição entre controladores, até que o sistema estabilize.

Por fim, o controle com saturação foi implementado utilizando a mesma estrutura da Figura 12, com a adição de um bloco de saturação antes da entrada da planta (Figura 18). Nesse caso, utilizou-se um poliedro, que permite a saturação, obtido de uma otimização distinta via KNITRO.

Devido à não linearidade introduzida pela saturação, a técnica de estados expandidos não se aplica a este caso. Para conduzir a planta a uma condição inicial, realiza o teste de pertencimento a cada amostra dos estados. Esse procedimento é implementado pelo bloco `in_poly`, que normaliza o valor de entrada, agrupa os estados em um vetor e verifica se este pertence ou não ao poliedro. Esse bloco não gera condições iniciais, e sua saída segue a mesma lógica do `conditionsToVector`. A condição inicial, por sua vez, é obtida a partir de outro bloco que recebe apenas a amostra mais atrasada, normaliza os valores e fornece o vetor adequado para a manipulação.

Os resultados experimentais (Figura 19) mostram que o sistema apresenta uma melhora de aproximadamente 180 segundos em relação ao controle chaveado.

A saturação é evidente na entrada do sistema, como mostrado na Figura 20, onde o controle atinge valores de até 20 V — o que poderia danificar o hardware de interface entre os tanques e o computador, caso não houvesse limitação.

Para garantir a integridade da bomba e da eletrônica, configurou-se o bloco de saturação no intervalo de $[-4, 4]$ V. Assim, o sistema atua no limite máximo por mais tempo, acelerando a convergência sem comprometer o equipamento e garantindo a saturação, como ilustrado na Figura 21.

Essa abordagem permitiu rápida estabilização do sistema e, ao mesmo tempo, preservou a segurança operacional da planta de testes.

Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a implementação de uma estratégia de controle baseada em conjuntos poliédricos invariantes para o sistema de tanques acoplados da Quanser, considerando a presença de atraso e a saturação da entrada. Partindo de modelos discretos com atraso, a formulação foi adaptada com o uso de representações aumentadas e inequações matriciais, conforme discutido em (Dórea et al., 2023; Brião et al., 2018). A síntese dos ganhos foi realizada por meio do

solucionador KNITRO, que permitiu encontrar soluções locais viáveis para os problemas bilineares associados à caracterização da invariância.

O trabalho teve como objetivo principal a convergência da planta para o ponto de equilíbrio de forma satisfatória em termos de tempo de acomodação, sem violar as restrições nos estados e no controle. Para isso, foram obtidas as condições iniciais válidas para testar os controladores derivados da otimização, seguidas de simulações das respostas dos estados e da entrada do sistema, culminando na implementação prática na planta física da Quanser.

Os resultados das simulações demonstraram de forma satisfatória a relação entre a área do poliedro, determinada pela contração λ , e a capacidade do controlador. Observou-se que reduzir a área do poliedro aumenta o ganho de controle, acelerando a resposta, mas restringindo as condições iniciais admissíveis. Em contrapartida, a inclusão da saturação mostrou-se eficiente ao manter maior área do poliedro, associada a ganhos mais elevados.

Na implementação da prática, verificou-se que a abordagem proposta é capaz de garantir a estabilidade do sistema mesmo na presença de atraso. Foram analisados três cenários: controle único, controle chaveado e controle com saturação. O controle único apresentou comportamento conservador, com estabilização mais lenta; o controle chaveado antecipou a convergência, reduzindo o tempo de estabilização; e o controle com saturação resultou em ganhos mais elevados, proporcionando uma resposta mais rápida sem violar os limites de operação da bomba.

A implementação física evidenciou ainda a influência de variáveis práticas ligadas à planta da Quanser, como a calibração dos sensores e os ganhos da bomba, que podem afetar a qualidade da resposta. Esse aspecto não foi explorado neste trabalho, pois o processo de calibração é restrito ao técnico do laboratório de Sistemas de Controle da UFRN. No entanto, calibras inadequadas podem gerar descasamentos entre o modelo utilizado para o projeto do controle e o sistema real.

Como perspectivas futuras, destaca-se a análise de atrasos em outras partes do sistema, como na saída, além da obtenção de poliedros de condições iniciais específicas para o caso com saturação. Este último ponto é relevante, uma vez que neste trabalho se utilizou a abordagem de estados expandidos, que se mostra conservadora para lidar com saturação de forma completa.

Referências

Apkarian, J., Lacheray, H., and Abdossalami, A. (2013). Quanser Coupled Tanks – Instructor and Student Workbook for MATLAB/Simulink Users. Quanser Inc., Markham, Ontario, Canada. URL <https://www.made-for-science.com/en/quanser/?df=made-for-science-quanser-coupled-tanks-coursewarestud-matlab.pdf>. Standardized for ABET Evaluation Criteria.

Brião, S.L., Pedrosa, M.V.A., Castelan, E.B., Camponogara, E., and de Assis, L.S. (2018). Explicit computation of stabilizing feedback control gains using polyhedral lyapunov functions. In 2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA), 1–6. doi:10.1109/ICA-ACCA.2018.8609751.

Dórea, C.E.T., Olaru, S., Niculescu, S.I., and Castelan, E.B. (2024). Set-invariance for discrete-time linear systems with time-varying delay: a polyhedral approach. In 2024 IEEE 63rd Conference on Decision and Control (CDC), 640–645. doi:10.1109/CDC56724.2024. 10886082.

Dórea, C.E., Olaru, S., and Niculescu, S.I. (2023). Delay-dependent invariance of polyhedral sets for discrete-time linear systems. IFAC-PapersOnLine, 56(2), 3259–3264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1466>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896323018748>. 22nd IFAC World Congress.

Normey-Rico, J.E. and Camacho, E.F. (2007). Control of Dead-time Processes. Advanced Textbooks in Control and Signal Processing. Springer, London.

Quanser Inc. (2012). Coupled Tanks User Manual. Quanser Inc., Markham, Ontario, Canada. Version 1.0.

Quanser Inc. (2015). Coupled Tanks – Data Sheet. Quanser Inc., Markham, Ontario, Canada. URL <https://www.made-for-science.com/de/quanser/?df=made-for-science-quanser-coupled-tanks-datasheet.pdf>. V1.3.

Rodrigues, M., Leite, G., Ícaro Araujo, Almeida, T., and Dórea, C. (2025). Output feedback reference tracking for constrained linear systems via invariant sets: the coupled tanks process. EasyChair Preprint 15926.

Tarbouriech, S., Garcia, G., da Silva, J.M.G.J., and Queinnec, I. (2011). Stability and Stabilization of Linear Systems with Saturating Actuators. Springer London, 1st edition. doi:10.1007/978-0-85729-941-3.

Anexos



Equação 1



Equação 2



Equação 3



Equação 4



Equação de 5 a 9



Equação 10



Equação 11



Equação da 12 a 17



Equação da 18 a 19



Equação de 20 a 26



Equação de 27 a 29



Equação de 30 a 31



Equação 32



Equação 33



Equação 34



Equação 35



Equação 36



Figura 1. Modelo da Quanser dos tanques acoplados utilizados nos experimentos.



Figura 2. Poliedro com $\lambda = 0.99$ e atraso definidos pelo KNITRO.



Figura 3. Poliedros obtidos com λ no intervalo $[0.99, 0.95]$.



Figura 4. Resposta do sistema com chaveamento de ganhos.



Figura 5. Poliedro obtido com saturação da entrada.



Figura 6. Trajetória dos estados e entradas com saturação.



Figura 7. Bloco de controle da Quanser para o sistema.



Figura 9. Bloco para atraso discreto do simulink.



Figura 10. Bloco para atraso em série.



Figura 11. Exemplificação da saída referente ao tanque 1 com o atraso implementado.



Figura 12. Diagrama do Simulink para implementar o controle da planta.



Figura 13. Nível dos tanques para o controle único (Tanque 1).



Figura 13. Nível dos tanques para o controle único (Tanque 2).



Figura 14. Entrada do sistema para o controle único.



Figura 15. Diagrama do Simulink para implementar o controle chaveado da planta.



Figura 16. Nível dos tanques para o controle chaveado (Tanque 1).



Figura 16. Nível dos tanques para o controle chaveado (Tanque 2).



Figura 17. Entrada do sistema para o controle chaveado.



Figura 18. Diagrama do Simulink para implementar o controle saturado da planta.



Figura 19. Nível dos tanques para o controle saturado (Tanque 1).



Figura 19. Nível dos tanques para o controle saturado (Tanque 2).



Figura 20. Entrada do sistema para o controle saturado sem o limite de segurança.



Figura 21. Entrada do sistema para o controle saturado com o limite de segurança.

CÓDIGO: ET0933

AUTOR: SHIRLEY BUSE DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: MARIA DEL PILAR DURANTE INGUNZA

TÍTULO: Caracterização geotécnica do resíduo de beneficiamento da Scheelita para uso rodoviário

Resumo

A crescente procura por processos sustentáveis que valorizem resíduos de mineração abre um vasto campo de estudo na engenharia civil. Esta pesquisa teve como objetivo caracterizar o resíduo do beneficiamento de scheelita e verificar a sua aplicabilidade em projetos rodoviários. Assim, uma mistura composta por 1 parte de base de pavimento, 0,5 parte de revestimento e 0,4 parte de resíduo foi caracterizada, verificando resultados favoráveis à utilização do resíduo da scheelita na reciclagem de pavimentos, principalmente com o aumento no Índice de Suporte Califórnia (CBR).

Palavras-chave: Scheelita, resíduo, pavimentação.

TITLE: Geotechnical Characterization of Scheelite Processing Residue for Roadway Use.

Abstract

The increasing demand for sustainable processes that add value to mining waste opens up a vast field of study in civil engineering. This research aimed to characterize scheelite processing waste and verify its applicability in road projects. Thus, a mixture composed of 1 part pavement base, 0.5 part coating, and 0.4 part waste was characterized, showing favorable results for the use of scheelite waste in pavement recycling, especially with the increase in the California Bearing Ratio (CBR).

Keywords: Scheelite, residue, Paving.

Introdução

A atividade mineradora representa entre 2,5% e 4% do PIB brasileiro (LEÃO; RABELO, 2023), mostrando-se como uma importante atividade econômica. No Rio Grande do Norte, destaca-se a extração do minério de scheelita, presente na Província Seridó, classificado como um bem mineral que tem importância pela sua aplicação em produtos de alta tecnologia (BRASIL, 2021).

A obtenção do tungstênio se dá pela extração da Scheelita – mineral pertencente à classe dos tungstatos. Na mina Brejuí, grande fonte do material, localizada no município de Currais Novos/RN, apenas 0,8% é aproveitado, enquanto 99,2% dessa mineração se reverte em resíduos (Gerab, 2014). Dessa maneira, surge a necessidade de encontrar uma aplicação ao resíduo e a possibilidade de incorporar em processos e materiais usados na construção civil.

No contexto de obras geotécnicas, devido ao custo do material e do transporte, muito se estuda sobre a substituição de agregados (SOUZA et al., 2016, ANDRADE et al., 2019, KONOVALOVA et al., 2023, SILVEIRA et al., 2018, DURANTE INGUNZA et al., 2020. Especificamente, no caso de obras rodoviárias, o estudo também é válido e pode trazer resultados satisfatórios (FIRAT et al., 2012).

Dessa maneira, com cerca de 4,5 milhões de toneladas de resíduo grosso de scheelita no município de Currais Novos (Gerab, 2014), o estudo para a aplicação em base de pavimento se mostra válido, atendendo uma demanda econômica, social e ambiental.

Este trabalho estudou o resíduo grosso da scheelita, visando a sua aplicação na pavimentação rodoviária. Nesse sentido, a pesquisa se desenvolveu de maneira a analisar as características do resíduo e testar uma mistura reciclada para base de pavimentos, feita com resíduo, base degradada do pavimento e revestimento asfáltico - simulando o processo de reciclagem - muito empregado em obras rodoviárias.

Metodologia

As cinco amostras do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita foram coletadas na Mina Brejuí, em Currais Novos/RN, em dois momentos, e encaminhadas para o laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, a fim de serem caracterizadas. As amostras de base de pavimento e revestimento asfáltico utilizados na mistura foram cedidas da pesquisa de mestrado de George Luis Moraes Rolemberg, do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental

(PPCIVAM). Para simular o processo de reciclagem de pavimentos, produziu-se em laboratório uma mistura na proporção em massa de 1:0,5:0,4, correspondente, respectivamente, a uma parte de material da base original, meia parte de revestimento asfáltico fresado e 0,4 parte de resíduo de scheelita, proporção escolhida por representar condições práticas de reaproveitamento em obras rodoviárias.

Inicialmente, na caracterização do resíduo da scheelita, foi realizada a análise granulométrica, segundo a NBR 7181:2025. Em seguida, utilizou-se a NBR 6458:2025 para determinar a massa específica dos sólidos e as NBR 6459:2016 e NBR 7180:2016 para definir os limites de liquidez e plasticidade, respectivamente. Para determinar o coeficiente de permeabilidade, seguiu-se a NBR 13292:2021, enquanto utilizou-se a NBR 7182:2025 para determinação da massa específica aparente seca máxima, para uma respectiva umidade ótima. Por fim, a NBR 9895:2016 foi utilizada para definir o índice de suporte Califórnia (CBR).

Para a caracterização da base original do pavimento e da mistura na proporção 1:0,5:0,4, foram utilizados os mesmos ensaios, com as suas respectivas normas, excluindo-se o ensaio de permeabilidade à carga constante.

Resultados e Discussões

Os resultados da caracterização do resíduo do beneficiamento da scheelita, apresentados na tabela 1, mostram características semelhantes entre as cinco amostras coletadas, uma areia grossa. Essa condição impossibilitou a definição de uma curva de compactação, inviabilizando a realização do ensaio de CBR para o resíduo puro. Assim, com a homogeneidade dos resultados, optou-se pela utilização da amostra 5 (Figura 1) na formulação da mistura, pois se encontrava no topo da pilha de resíduo, favorecendo a sua extração e conferindo maior viabilidade na prática de aproveitamento.

A base de pavimento utilizada na mistura (Figura 2) também foi caracterizada, como mostrado na tabela 2. A avaliação da base permitiu notar a degradação do material nos valores de CBR, já que a capacidade de suporte da via de origem, via de tráfego intenso, deveria ser no mínimo 80%, e se encontrava em 67,42%. Os demais parâmetros apresentaram valores compatíveis com a reutilização no processo de reciclagem.

Os resultados da mistura proposta, apresentados na Tabela 3, revelam uma melhora significativa nas características do material, principalmente no que tange à capacidade

de suporte (Figura 3). A comparação entre a mistura e a base original revela um notável avanço no comportamento mecânico. O CBR da mistura atingiu 76,48%, um valor significativamente superior aos 67,42% da base degradada. Este aumento de mais de 13% na capacidade de suporte indica que a adição do resíduo de scheelita e do revestimento asfáltico foi eficaz em restaurar e até melhorar as propriedades da base original, aproximando-a do valor mínimo de 80% exigido para camadas de base de alta qualidade, conforme o método de dimensionamento do DNER.

Outro indicador de melhoria foi o ensaio de expansão. Enquanto a base original apresentou uma expansão de 0,021%, a mistura registrou expansão nula (0%), demonstrando que a mistura é mais estável na presença de umidade, aumentando a sua qualidade.

Conclusão

A pesquisa foi capaz de caracterizar o resíduo do beneficiamento de scheelita e indicou melhoras significativas com a mistura reciclada proposta, comprovando o seu potencial para a aplicação na reciclagem de pavimentos rodoviários. O resultado do ensaio de Índice de Suporte Califórnia foi o principal indicador de sucesso, apresentando um aumento de 67,42% para 76,48%, além da completa eliminação da expansão do material.

Conforme o método de dimensionamento do DNER (1981), o CBR obtido qualifica a mistura estudada como um material excelente para aplicação em camadas de sub-base. Adicionalmente, o valor também atende os 60% exigidos para camada de base em pavimentos com tráfego de até $N \leq 10^6$ e se aproxima de atender os 80% que o manual define para tráfego com $N > 10^6$. Tal desempenho é notável, considerando que não houve adição de agregados nobres, como a brita.

Dessa forma, os resultados confirmam que a mistura não apenas recupera a capacidade de suporte da base degradada, mas também melhora sua estabilidade dimensional, validando o potencial do resíduo do beneficiamento de scheelita como um material viável para uso em processos de reciclagem de pavimentos rodoviários.

Entretanto, para trabalhos futuros, recomenda-se o estudo de outras proporções da mistura, bem como a adição de brita para otimizar ainda mais o comportamento

mecânico. Analisou-se também a viabilidade de outras aplicações para o resíduo, como em misturas de solo-cimento.

Referências

ANDRADE, S. S. F.; BATISTA, L. S.; MACHADO, W. S.; MEDEIROS, J. K. S.; SOUZA, T. L. Análise da viabilidade da utilização de resíduos da mineração para fins de pavimentação com base na caracterização e avaliação mecânica. In: Congresso Sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 5., 2019, Foz do Iguaçu. Anais [...] Foz do Iguaçu: Corensol, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6458:2025 — Solo — Determinação da massa específica real. Rio de Janeiro: ABNT, 2025. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459:2016 — Solo — Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180:2016 — Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181:2025 — Solo — Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2025. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182:2025 — Solo — Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2025. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895:2016 — Solo — Determinação do índice de suporte Califórnia (ISC) de solos – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13292:2021 – Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 13 p.

BRASIL. Câmara Técnica de Análise de Projetos e Modelagens Energéticas. Resolução nº 2, de 18 de junho de 2021. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 114, p. 79–81, 21 jun. 2021.

DURANTE INGUNZA, Maria del Pilar; DOS SANTOS JÚNIOR, Olavo Francisco; GERAB, André Tabosa Fernandes de Santa Cruz. Potential use of sandy mining wastes as raw material in road construction. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 38, n. 5, p. 5681–5691, 2020.

FIRAT, Seyhan et al. Utilization of marble dust, fly ash and waste sand (Silt-Quartz) in road subbase filling materials. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 16, p. 1143–1151, 2012.

GERAB, André Tabosa Fernandes de Santa Cruz. Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

KONOVALOVA, Nataliya et al. Road soil concrete based on stone grinder waste and wood waste modified with environmentally safe stabilizing additive. *Case Studies in Construction Materials*, v. 19, p. e02318, 2023.

LEÃO, Rafael; RABELO, Rodrigo. A extensão da cadeia produtiva da economia mineral no PIB brasileiro. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea, 2023. 88 p. (Texto para Discussão, n. 2950). DOI:<https://doi.org/10.38116/td2950-port>.

SILVEIRA, V. L.; NETTO, Q. M. P.; BARBOSA, V. H. R.; CASTRO, C. D.; GUIMARÃES, A. C. R. Aproveitamento do resíduo da mineração para uso em pavimentação. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 32., 2018, Gramado. Anais [...] Gramado: ANPET, 2018.

SOUZA, Murillo Lopes de. Método de projeto de pavimentos flexíveis. 3. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: IPR, 1981. (IPR. Publ. 667).

SOUZA, R. A.; MORAIS, A. D.; FRANÇA, F. A. N.; SANTOS JÚNIOR, O. F.
Aplicação do resíduo fino do beneficiamento da scheelita em obras geotécnicas. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 18., 2016, Belo Horizonte. Anais [...] Belo Horizonte: COBRAMSEG/SBMR, 2016.

Anexos



Tabela 1 - Resultados dos ensaios laboratoriais feitos com o resíduo da scheelita



Tabela 2 - Resultados dos ensaios laboratoriais feitos com a base do pavimento do km 51,60



Tabela 3 - Resultados dos ensaios laboratoriais feitos com a mistura de base, revestimento asfáltico e resíduo (1:0,5:0,4)



Figura 1 - Amostra 5 do resíduo grosso do beneficiamento de scheelita



Figura 2 - Amostra da base de pavimento



Figura 3 - Mistura proposta (1:0,5:0,4)

CÓDIGO: ET0955

AUTOR: ALICE MAYARA COSTA DE OLIVEIRA

COAUTOR: GLEYSON BATISTA DE OLIVEIRA

COAUTOR: ENTONY DAVID DANTAS

ORIENTADOR: DOMINGOS FABIANO DE SANTANA SOUZA

TÍTULO: Análise experimental e técnico-econômica da Captura e Mineralização de CO₂ considerando os cenários atuais

Resumo

Um dos principais fatores da mudança climática é o aumento do efeito estufa causado pela alta concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Para mitigar esse problema, tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) vêm sendo estudadas, destacando-se a absorção química com aminas pela alta eficiência e viabilidade, sendo a monoetanolamina (MEA) a mais utilizada desde a década de 1930. Este trabalho avalia a recirculação da MEA em processos de captura de CO₂, por meio da regeneração química via mineralização, verificando sua capacidade de reutilização em múltiplos ciclos. A metodologia empregou uma solução absorvedora de MEA a 30% v/v, saturada com CO₂ puro até estabilização do pH, seguida da mineralização com óxidos de cálcio (CaO), magnésio (MgO) e suas misturas, simulando resíduos industriais como escórias e cinzas volantes. Os resultados mostraram a formação de carbonatos estáveis (CaCO₃ e MgCO₃), que promovem a fixação permanente do CO₂ e permitem regenerar a amina. O MgO apresentou maior estabilidade e eficiência, enquanto o CaO sofreu desaceleração devido à sinterização. Já a mistura com maior proporção de MgO manteve bom desempenho nas recirculações. Dessa forma, a estratégia utilizada se mostra promissora para a redução de custos energéticos, prolongamento da vida útil do solvente e a valorização dos resíduos industriais, oferecendo uma rota sustentável alinhada à economia circular e à mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: captura de co₂, recirculação, mineralização, mea, efeito estufa

TITLE: Experimental and techno-economic analysis of CO₂ Capture and Mineralization considering current scenarios

Abstract

One of the main factors of climate change is the increase of the greenhouse effect caused by the high concentration of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere. To mitigate this problem, carbon capture and storage (CCS) technologies have been studied, with chemical absorption using amines being highlighted for its high efficiency and feasibility, with monoethanolamine (MEA) being the most used since the 1930s. This work evaluates the recirculation of MEA in CO₂ capture processes through chemical regeneration via mineralization, assessing its capacity for reuse over multiple cycles. The methodology employed a 30% v/v MEA absorbing solution, saturated with pure CO₂ until pH stabilization, followed by mineralization with calcium oxides (CaO), magnesium (MgO), and their mixtures, simulating industrial waste such as slags and fly ashes. The results showed the formation of stable carbonates (CaCO₃ and MgCO₃), which promote the permanent fixation of CO₂ and enable the regeneration of the amine. MgO showed greater stability and efficiency, while CaO experienced a slowdown due to sintering. Meanwhile, the mixture with a higher proportion of MgO maintained good performance in recirculations. Thus, the strategy used proves promising for reducing energy costs, extending the solvent's lifespan, and enhancing the value of industrial waste, offering a sustainable path aligned with the circular economy and climate change mitigation.

Keywords: CO₂ capture, recirculation, mineralization, mea, greenhouse effect

Introdução

Desde a revolução industrial, as atividades humanas vêm contribuindo na modificação da composição química da atmosfera, aumentando a concentração dos GEE. Estas alterações são provenientes de queima de combustíveis fósseis, desmatamento, agricultura e pecuária. Sendo o CO₂ responsável por cerca de 64% do aquecimento do clima em 2022 (Nações Unidas Brasil, 2013). Como resultados da sua presença em excesso ocorre mudanças climáticas como, derretimento de geleiras que desencadeiam alterações no nível do mar, alterações no regime de chuvas, mudanças essas que têm impacto direto na vida marinha, na saúde humana e na produção agrícola e florestal (Mattei & Cunha, 2021).

Com isso, tecnologias de processos de captura de carbono e armazenamento, conhecidas como CCS (Carbon Capture and Storage), vêm sendo estudadas, envolvendo as etapas de captura, transporte e armazenamento do CO₂ (Freitas, 2019; Miranda et al, 2018; Vanrell, 2016). Frente às tecnologias de captura elas podem ser agrupadas a partir de processos físicos ou químicos, como a adsorção, absorção, separação por membranas e destilação criogênica.(Santos, 2012; Freitas, 2019).

O processo de absorção utilizando aminas é um dos métodos mais consolidado e amplamente aplicado em escala industrial na área de captura e recuperação de CO₂ provenientes de gases de combustão, por ser viável comercialmente e a sua possibilidade de ser operado a pressão e temperatura aproximadas às atmosféricas. (Kohl & Nielsen, 1997), sendo a monoetanolamina (MEA), o solvente mais utilizado no processo desde 1930 (Rochelle, 2009).

A utilização de aminas, como a monoetanolamina (MEA), na captura de CO₂, apresenta limitações importantes, entre elas: problemas operacionais, degradação da

amina, corrosão do equipamento e, sobretudo, a alta demanda de energia durante a etapa regeneração da solução absorvedora, impactando os custos operacionais da unidade. Estima-se que a regeneração da amina, através de processos térmicos convencionais, representem entre 60% e 80% do consumo energético total de uma planta de captura pós-combustão (IPCC, 2005). Diante desse desafio, alguns estudos vêm trazendo estratégias para reduzir a quantidade de energia utilizada na regeneração. (Ji et al., 2018; Liu & Gadikota, 2019; Ji et al., 2022) utilizaram o processo de regeneração química, a partir do processo de mineralização, como uma alternativa à regeneração térmica.

O processo de mineralização é uma forma segura de armazenamento de CO₂, baseada na reação de fixação permanente do gás em óxidos alcalinos e alcalinos-terrosos, como o óxido de magnésio (MgO) e de cálcio (CaO), além de fontes secundárias resíduos industriais alcalinos: escória, cinzas volantes, resíduos de mineração e outros subprodutos industriais com teores significativos de Ca e Mg (Liu & Gadikota, 2019). Quando esses óxidos são incorporados às soluções de aminas carregadas de CO₂, ocorre a reação entre os íons bicarbonato presentes no meio líquido e os óxidos, promovendo a precipitação de carbonato de magnésio (MgCO₃) e carbonato de cálcio (CaCO₃). Essa reação, além de estabilizar o carbono em forma sólida e ambientalmente inerte, reduz os riscos de maneira significativa aos riscos de retorno de CO₂ para atmosfera, e restaura as soluções de amina para serem usadas em mais ciclos de absorção (Li et al., 2024). Os carbonatos formados podem ser descartados ou reutilizados, como no processo de materiais cerâmicos e papel, oferecendo uma rota de valorização de resíduos industriais (Oliveira, 2005; Lira, C., 1997).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar a captura de CO₂, a mineralização e a recirculação de uma solução de monoetanolamina (30% v/v). A mineralização foi realizada com CaO, MgO e misturas desses respectivos óxidos simulando escórias ou rejeitos que sejam compostos majoritariamente desses óxidos. Analisando a conversão de óxido em carbonato e a capacidade de captura de CO₂ da amina recirculada.

Metodologia

Preparação das soluções absorvedoras

As soluções foram preparadas pela dissolução de monoetanolamina (MEA) em água destilada, na proporção de 30% v/v.

Processo de absorção de CO₂

A captura de CO₂ foi realizada em uma coluna de borbulhamento, conforme ilustrado na figura 1. O sistema operacional é composto por um cilindro de CO₂ conectado a um rotâmetro de fluxo volumétrico (faixa de até 100 ml/min) na entrada do aparato. O gás é introduzido na coluna por meio de um tubo microporoso de aço inoxidável, que promove a distribuição de bolhas no interior da solução dentro da coluna, que está em agitação constante em um agitador magnético.

Para cada experimento, utilizou-se um volume de 500 ml de solução. Contudo, devido a limitação volumétrica da proveta, os ensaios foram conduzidos em bateladas de 250 ml. A solução foi saturada a uma vazão de 100 ml/min de CO₂, sendo o processo de monitoramento acompanhado pela leitura de pH, com o auxílio de um pHmetro (pHmetro de bancada Kasvi K39-1420A). Alíquotas de 10 ml da solução foram retiradas em intervalos de 5 min, até a estabilização.

Após a saturação, as soluções foram armazenadas em recipiente fechado e vedado com papel alumínio, para evitar alterações nas suas propriedades, sendo posteriormente utilizada na etapa de mineralização.

Mineralização de CO₂

O ensaio de mineralização consistiu na utilização da solução de MEA previamente saturada com CO₂, conduzidos em condições de temperatura ambiente. Os experimentos foram realizados em um béquer sob agitação constante, com a adição de CaO e MgO, de modo isolado, bem como em misturas binárias, em diferentes proporções como descrito na Tabela 1.

A avaliação da mineralização foi conduzida a partir de análise do comportamento em cada condição estabelecida, considerando-se as proporções mássicas aplicadas para cada mistura de reagentes sólidos e a solução saturada de MEA.

Antes da etapa de reação, microtubos de 2 ml foram previamente identificados, secos em estufa a 80°C, por no mínimo 30 minutos, e pesados. Com agitação constante, os óxidos (ou blends) foram adicionados à solução saturada. Amostras de 2 ml foram retiradas nos tempos de 1 min, 5 min, 1 h, 2 h, 3 h e 4 h. Cada alíquota coletada foi centrifugada e o sobrenadante descartado, o precipitado foi lavado 2x com etanol P.A., a fim de remover resíduos de MEA da amostra. O precipitado obtido foi seco em estufa a 80°C, por no mínimo de 12 horas.

Após a secagem, as amostras foram pesadas para determinação da eficiência de mineralização η (%), conforme metodologia de (Oliveira, 2024).

Para o cálculo da eficiência de carbonatação (η %), primeiramente se estima a quantidade teórica de CO₂ que está presente na solução saturada de MEA, assumindo uma relação molar de $\alpha = 0,5$ mol de CO₂ por mol de MEA. A partir dessa suposição, é possível determinar a massa teórica de CO₂ disponível na amostra através da Eq. (1). Em seguida, é experimentalmente quantificada a quantidade de CO₂ que efetivamente foi mineralizada aplicando a Eq. (2), que relaciona a massa da amostra à porcentagem de perda de peso de CO₂ obtida por análise termogravimétrica (TGA). Logo, calculamos a eficiência da carbonatação usando a Eq. (4), tendo como base a relação entre os valores determinados de forma experimental e estimados de forma teórica.

$$m_{CO_2 - th} = [MEA] \cdot V_{sample} \cdot M_{CO_2}. (1)$$

$$m_{CO_2, exp} = m_{sample} \cdot \%CO_2 (2)$$

$$\% \text{ CO}_2 = \frac{\text{Áreas (mCO}_2\text{)}}{mT \text{ (TGA)}} (3)$$

$$(\%) = \frac{m\text{CO}_2}{\text{expmCO}_2, \text{teo}} \cdot 100 (4)$$

Tratamento de dados

Os dados obtidos nos experimentos foram colocados em planilha no software Excel para cálculo da conversão dos óxidos em carbonatos.

Análise Termogravimétrica

As análises termogravimétricas foram realizadas em um analisador térmico simultâneo da NETZSCH modelo STA 449F5. Aproximadamente 13,3 mg das amostras foram aquecidas de 30 a 1000 °C em um suporte de cadinho de alumina (Al₂O₃) aberto sob atmosfera composta de ar sintético (250 mL/min) e taxas de aquecimento de 10 °C /min.

Reciclo

Após cada mineralização, o excedente de solução foi centrifugado e o sobrenadante filtrado. Em seguida, a solução recuperada foi reutilizada em novos ciclos de saturação com CO₂ e depois passados novamente pelo processo de mineralização, seguindo o mesmo procedimento descrito na etapa de processo de absorção de CO₂.

Resultados e Discussões

Processo de absorção de CO₂

A figura 2 mostra o comportamento da reação de captura de CO₂ nos ensaios de óxidos e misturas em blends de óxidos, como também a captura na solução regenerada e recirculada.

A solução primária teve um comportamento semelhante em todas as condições estudadas, iniciando em um pH de aproximadamente 12,3 no tempo de 0 min. Nos primeiros 40 minutos da reação é possível observar uma redução gradual e relativamente uniforme do pH, refletindo o aumento da concentração de CO₂ dissolvido. Entre 75 - 110 min, foi verificado uma tendência clara de estabilização em torno de pH 7,8. Comportamento parecido ao obtido por (Lv et al., 2015). Esse decréscimo não ocorre de forma linear ao longo do tempo, visto que está diretamente ligada às reações sucessivas entre o CO₂ e a amina, que envolve tanto a formação de carbamato quanto a protonação da MEA, resultando em mudanças dinâmicas na composição química da solução (Li et al., 2024).

Nas condições de recirculação da solução, é possível observar que o sistema de CaO puro mostrou valores de pH inicial nos ciclos inferiores aos verificados no cenário de MgO puro, evidenciando que a regeneração da solução foi mais eficiente quando se utilizou o MgO.

No caso das blends, os sistemas apresentaram características semelhantes entre os ciclos, apresentando um aumento significativo no pH inicial e chegando a estabilização em um tempo bem reduzido em comparação com a estabilização da solução primária. A B140, contendo maior proporção de MgO, apresentou um melhor desempenho, atingindo valores de pH inicial maior que as demais blends, tendo comportamento mais semelhante com o estudo do MgO, apesar de apresentar limitações de ciclo devido a grande perda de volume operacional durante a realização da etapa experimental.

De forma geral, as misturas mostraram um bom desempenho nas recirculações, com tempos de captura aproximados e valores finais de pH próximos aos valores obtidos na saturação da solução primária.

Estudo cinético da Mineralização de CO₂

A Figura 3 mostra a cinética de mineralização de CO₂ nos ensaios de óxido e suas blends, evidenciando a relação da eficiência de conversão de óxidos em carbonatos na solução primária e ao longo das recirculações.

Para a reação de mineralização utilizando o CaO, a solução primária obteve sua maior eficiência em menor tempo, onde estabilizou em torno de 11% - 13%. O mesmo comportamento foi observado no primeiro ciclo, apresentando uma eficiência muito boa em relação aos demais ciclos, chegando a 18,79%. Contudo, a partir do segundo ciclo observou-se uma queda de eficiência. Esse comportamento está associado à desativação progressiva atribuída à sinterização (Ghorbaei; Ebrahim, 2022).

O MgO, por sua vez, apresentou a maior eficiência global, chegando a cerca de 44% no tempo de 120 minutos, na solução primária. Embora a reação tenha acontecido de forma mais lenta em comparação ao CaO, tendo uma diminuição de taxa quase constante nos minutos seguintes, na solução primária. Porém, apresentou uma eficiência maior nos tempos finais dos ciclos por ser mais estável.

Entre as misturas, a B140 foi a que obteve melhores resultados apresentando eficiência em torno 30% - 33% tanto na solução primária quanto nos ciclos, mantendo um comportamento semelhante ao MgO, em função da maior proporção deste óxido em sua composição, mantendo o padrão de eficiência gradativa e estabilizada nos ciclos.

A B240 apresentou eficiências intermediárias, tendo como maior eficiência ~ 24% na solução primária e ~ 30% nos ciclos, mostrando estabilização ao longo dos ciclos. A presença considerável de CaO favorece a maior desativação reduzindo a eficiência global, porém, os valores aproximados entre os ciclos indicam que o MgO contribuiu para preservar a atividade cíclica.

A B340 mostrou um comportamento semelhante ao CaO, com eficiência ~20% na solução primária e ~30% nos demais ciclos. A maior proporção de CaO explica a sua menor estabilidade cíclica.

Nos experimentos de reciclos foi observado que a B240 e B340 e do CaO puro, a solução regenerada, mesmo após filtração apresentou turvação mais intensa em comparação com a solução regenerada da solução primária e a solução regenerada dos reciclos do MgO puro e da B140. Esse comportamento sugere a presença de partículas finas na solução em suspensão, onde para uma maior extração de particulados, o diâmetro do papel filtro usado deve ser a nível de nanopartículas (ou ultrafiltração), visando a melhoria na remoção das partículas suspensas de modo a auxiliar na etapa seguinte para a regeneração das soluções. A turvação persistente sugere a presença de CaO não reagidos que permaneceram em suspensão, fenômeno que está de acordo com a literatura que aponta a desativação progressiva por sinterização, que reduz a reatividade em recirculações.

O tempo de reação de saturação mais curto dos reciclos, aliado à pequena elevação no valor do pH, reforça a hipótese da presença de óxidos não reagidos no meio. Esses óxidos residuais passam novamente pelo processo de absorção de CO₂ e mineralização a cada reciclo, onde é adicionado e realimentado com óxidos proporcional ao volume, gerando uma superposição de fases reativas e inertes.

Propriedade termogravimétrica dos carbonatos gerados

A Figura 4 apresenta as curvas de termogravimetria (TGA) obtidas nos experimentos de carbonatação mineral, bem como suas respectivas derivadas (DrTGA) relacionadas ao primeiro reciclo das soluções. Esses resultados evidenciam a variação da taxa de transformação ao longo do processo de carbonatação mineral de CO₂, particularmente durante a decomposição térmica dos carbonatos formados.

Na análise termogravimétrica do produto carbonatado pelo CaO puro, observa-se uma perda de massa significativa entre 680 °C - 800 °C, atribuída à decomposição do CaCO₃ em CaO e CO₂, resultando em uma perda de massa de 39,7%. Esse comportamento foi obtido também em estudos reportados na literatura (Lu et al, 2024; Oliveira, 2024). As oscilações na variação de massa são percebidas nos picos da curva DTG, que mostra a taxa de perda de massa em função do tempo que foi essencial para determinar a área correspondente da perda e inserir na equação de eficiência. Antes dessa etapa, nota-se uma perda lenta e gradual, relacionada à eliminação de água adsorvida, enquanto o pico mais acentuado da curva de DTG ocorre a 780 °C, caracterizado pela principal etapa de decomposição do carbonato.

Para o sistema com o MgO puro, a curva evidencia duas etapas diferentes. A primeira ocorre a decomposição da magnesita em sua configuração hidratada, como observado nas curvas em temperaturas próximas a 180°C. O segundo efeito observado corresponde a decomposição do MgCO₃ em MgO, ocorrendo entre 290 °C e 500 °C, com uma perda de massa total de 57% .

A B140, mostrou características próximas ao sistema contendo o MgO, onde houve a decomposição dos compostos hidratados do MgO em temperaturas próximas a 180°C,

seguido da decomposição do MgCO_3 em MgO entre às temperaturas de 300°C e 550°C , tendo uma perda total de 56%. Finalmente, há a decomposição do CaCO_3 ocorrendo a 720°C , com uma perda mássica de 9% .

A B240, apresentou por sua vez características evidentes dos ensaio realizados com o sistema MgO e de CaO , onde houve a decomposição entre água e MgO em temperaturas próximas a 170°C , seguido da decomposição do MgCO_3 em MgO entre as temperaturas de 300°C e 520°C , tendo uma perda total de 27%. Posteriormente, identificou-se também a decomposição do CaCO_3 em torno de 650°C e 740°C , com uma perda mássica de 14% .

A B340, mostrou características semelhantes a de CaO , onde houve a decomposição entre água e MgO em temperaturas próximas a 160°C , seguido da decomposição do MgCO_3 em MgO entre as temperaturas de 350°C e 420°C , tendo uma perda total de 29%. A mistura apresentou também a decomposição do CaCO_3 em torno de 610°C e 760°C , com uma perda mássica de 23% .

De maneira geral, a análise das misturas em blends evidenciaram a contribuição relativa de cada componente precursor (MgO e CaO) nos processos de carbonatação. A presença de múltiplos picos de DTG sugere a coexistência de diferentes fases carbonatadas, confirmando a formação simultânea de CaCO_3 e MgCO_3 .

A análise de TGA possibilitou não apenas identificar as etapas de decomposição, mas também a estimativa quantitativa das frações mássicas de produtos formados. A partir desses resultados é possível compreender a composição real e a taxa de conversão dos produtos que foram formados na carbonatação mineral, gerando um entendimento sobre a fração dos produtos resultantes e obtendo valores mais confiáveis de eficiência.

Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a recirculação de soluções de MEA regenerada por meio da mineralização de CO_2 com óxidos é uma alternativa promissora frente às limitações da regeneração térmica convencional. As reações em temperatura ambiente evidenciaram boa conversão de óxidos em carbonatos, confirmando a eficiência da rota química para a captura de CO_2 , regeneração da amina e sua reutilização em múltiplos ciclos.

A avaliação cinética mostrou que o MgO apresentou maior estabilidade cíclica e eficiência global em comparação ao CaO , que, embora tenha apresentado altas taxas iniciais de conversão, sofreu queda progressiva de desempenho, atribuída à sinterização e consequente redução da reatividade. Entre as misturas, a B140, com maior proporção de MgO , destacou-se por manter eficiência mais elevada e estabilidade ao longo das recirculações.

A escolha de CaO, MgO e suas misturas como análogas a escórias e cinzas volantes serviram para compreender o comportamento de cada sistema, permitindo avaliar a influência relativa de CaO e MgO no processo de mineralização. Essa abordagem foi essencial para estabelecer uma base de comparação antes da aplicação direta em resíduos industriais, os quais apresentam composição química variável e presença de impurezas que podem interferir na eficiência da captura e regeneração.

Referências

BACK, M. et al. Sequestration of CO₂ after reaction with alkaline earth metal oxides CaO and MgO. *Applied Geochemistry*, v. 26, p. 1097-1107, jul. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.03.125>

CARVALHO, L. S. et al. Estudo da tecnologia de separação do CO₂ de gases industriais por absorção com monoetanolamina (MEA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 4., 2007, Campinas. Anais [...]. Campinas: PDPetro, 2007. Disponível em: <Microsoft Word - PDPETRO_ABSOR\307AO.doc>. Acesso em: 02 ago. 2025.

FREITAS, C. M. Processos de separação de CO₂ a partir de absorção utilizando aminas: revisão. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019. Acesso em: 12 ago. 2025

GHORBAEI, S. Z.; EBRAHIM, H. A. Comparison of kinetics and thermochemical energy storage capacities of strontium oxide, calcium oxide, and magnesium oxide during carbonation reaction. *Renewable Energy*, v. 184, p. 765-775, jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.108>

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage (SRCCS). Bert Metz; Ogunlade Davidson; Heleen de Coninck; Manuela Loos; Leo Meyer (eds.). Cambridge: Cambridge University Press; Genebra: IPCC, 2005. 431 p. Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/report/srccs/>. Acesso em: 03 ago. 2025.

Jl, L. et al. Feasibility and mechanism of an amine-looping process for efficient CO₂ mineralization using alkaline ashes. *Chemical Engineering Journal*, v. 430, fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133118>

KOHL, A.; NIELSEN, R. Gas purification. 5. ed. Houston: Gulf Professional Publishing, 1997.

LI, L. et al. Integrated CO₂ capture and mineralization based on monoethanolamine and lime kiln dust. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 63, p. 16019-16028, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.4c02064>

LIRA, C. Efeito de carbonatos de Ca, Mg e Li e do ciclo de queima na expansão por umidade de materiais cerâmicos porosos para revestimento. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

LIU, M.; GADIKOTA, G. Integrated CO₂ capture, conversion, and storage to produce calcium carbonate using an amine looping strategy. *Energy & Fuels*, v. 33, p. 1722-1733, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b02803>

LU, J. et al. Single-step integrated CO₂ absorption and mineralization using fly ash coupled mixed amine solution: mineralization performance and reaction kinetics. *Energy*, v. 286, jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129615>

LV, B. et al. Mechanisms of CO₂ capture into monoethanolamine solution with different CO₂ loading during the absorption/desorption processes. *Environmental Science & Technology*, v. 49, ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02356>

MATTEI, T. F.; CUNHA, M. S. Emissões de gases do efeito estufa no Brasil: análise de curto e longo prazo. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá, v. 14, n. 4, p. 953-967, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n4e8809>

MIRANDA, J. L. et al. O Antropoceno e o CO₂: processos de captura e conversão. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 6, p. 1915-1946, jan. 2019. Disponível em: <http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v10n6a14.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2025.

MORES, P. et al. CO₂ capture using monoethanolamine (MEA) aqueous solution: modeling and optimization of the solvent regeneration and CO₂ desorption process. *Energy Procedia*, v. 45, p. 1042-1058, set. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610212014546>.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Clima: concentração de gases de efeito estufa na atmosfera atinge novo recorde em 2022. Nações Unidas Brasil, Brasília, 17 nov. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/251569-clima-concentracao-de-gases-de-efeito-estufa-na-atmosfera-atinge-novo-recorde-em-2022>. Acesso em: 03 ago. 2025.

OLIVEIRA, F. V. Processamento de carbonato de cálcio para aplicação nas indústrias de papel e de plástico. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

OLIVEIRA, G. B. Captura e mineralização de CO₂ em processo de recirculação de amina modificado. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

RAJAMATHI, R. Porous CaO–MgO nanostructures for CO₂ capture. *ACS Applied Nano Materials*, v. 4, p. 10969-10975, set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsanm.1c02428>

ROCHELLE, G. T. Amine scrubbing for CO₂ capture. *Science*, v. 325, n. 5948, p. 1652-1654, set. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1176731>

SANTOS, A. E. Estudos de absorção de CO₂ com soluções aminadas. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2012.

SILVA, R. W. C.; PAULA, B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. *Terra Didática*, Campinas, v. 5, n. 1, p. 42-49, 2009. Disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>. Acesso em: 03 ago. 2025.

ZHANG, W. et al. Coupled CO₂ absorption and mineralization with low-concentration monoethanolamine. *Energy*, v. 241, fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122524>

ZHANG, Y. et al. Performance and mechanisms of alkaline solid waste in CO₂ mineralization and utilization. *Waste Management*, v. 175, p. 62-72, mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.12.047>

Anexos



Tabela 1: Concentração e proporções dos óxidos e misturas de blend para estudos de mineralização de CO₂ em condição ambiente.



Figura 1: Esquema experimental para o ensaio de captura de CO₂, (1) Cilindro de CO₂ ; (2) Rotâmetro para controle da vazão de gás; (3) Proveta de vidro; (4) Tubo microporoso de aço inoxidável; (5) Agitador magnético; (6) Medidor de pH; (6) Computador



Figura 2: Cinética da captura de CO₂ na solução primária e nos ciclos de MEA regenerada a partir da mineralização, usando (1) CaO puro; (2) MgO puro; (3) Blend 1; (4) Blend 2 e (5) Blend 3, a 25°C.



Figura 3: Cinética de mineralização de CO₂ na solução primária e nos reciclos de MEA regenerada usando (1) CaO puro; (2) MgO puro; (3) Blend 1; (4) Blend 2 e (5) Blend 3, a 25°C.



Figura 4: Análise termogravimétrica de amostras carbonatadas contendo CaCO₃ e MgCO₃ gerados pela mineralização.

CÓDIGO: ET0971

AUTOR: MARIA EDUARDA ARAUJO DA HORA

COAUTOR: WILZA KIMILLY VITAL DE PAIVA

ORIENTADOR: EVERALDO SILVINO DOS SANTOS

TÍTULO: PRODUÇÃO DE LIPOPEPTÍDEOS ATRAVÉS DO CULTIVO DE BAIXO CUSTO DE *Bacillus subtilis* UFPEDA 438 E SUA APLICAÇÃO EM BIORREMEDIAÇÃO DE ÓLEO BRUTO EM AREIA DA PRAIA

Resumo

Agentes desinfetantes ou surfactantes são substâncias químicas que têm em sua composição uma porção hidrofílica (polar), e outra hidrofóbica (apolar), conferindo-lhes capacidade tensoativa. Produzidos por microrganismos ou fungos a partir de seu metabolismo, existem os biosurfactantes, moléculas estruturadas como glicolipídios, fosfolipídios, lipossacarídeos, lipopeptídeos e ácidos graxos. Neste grupo, se destacam a surfactina e a iturina, ambas produzidas por *Bacillus subtilis*, sendo alvos de várias pesquisas, nas mais diversas áreas, como a área farmacêutica, onde principalmente se estudam seus potenciais antimicrobianos e antifúngicos, combatendo sua ação em patologias humanas e na desinfecção de superfícies. Outro forte potencial de aplicação desses tensoativos é na biorremediação, como na remoção de resíduos de áreas contaminadas. No presente trabalho, $97,26 \pm 1,02$ mg de extrato bruto de lipopeptídeos contendo majoritariamente iturina e surfactina removeram cerca de $24,57 \pm 1,35\%$ de óleo bruto de Petróleo de uma amostra de areia da Praia de Ponta Negra Natal - RN.

Palavras-chave: Surfactina. Iturina. Tensoativo. Biorremediação. Petróleo.

TITLE: LIPOPEPTIDE PRODUCTION THROUGH LOW-COST CULTIVATION OF *Bacillus subtilis* UFPEDA 438 AND ITS APPLICATION IN CRUDE OIL BIOREMEDIATION IN BEACH SAND

Abstract

Disinfectant agents, or surfactants, are chemical substances composed of a hydrophilic (polar) portion and a hydrophobic (nonpolar) portion, giving them surfactant properties. Produced by microorganisms or fungi through their metabolism, biosurfactants are structured molecules such as glycolipids, phospholipids, liposaccharides, lipopeptides,

and fatty acids. Among these, surfactin and iturin, both produced by *Bacillus subtilis*, are the subject of extensive research in a wide range of fields, including pharmaceuticals, where their antimicrobial and antifungal potential is primarily studied, combating their effects on human diseases and surface disinfection. Another strong potential application for these surfactants is in bioremediation, such as the removal of waste from contaminated areas. In the present work, 97.26 ± 1.02 mg of crude lipopeptide extract containing mainly iturin and surfactin removed approximately $24.57 \pm 1.35\%$ of crude oil from a sand sample from Ponta Negra Beach, Natal - RN.

Keywords: Surfactin. Iturin. Surfactant. Bioremediation. Petroleum.

Introdução

Biossurfactantes, compostos produzidos por bactérias ou fungos que possuem uma porção hidrofóbica e outra hidrofílica, são produtos naturais ou sintetizados a partir de fontes orgânicas. Atualmente, devido a suas variadas propriedades, como a tensoatividade e atividade antimicrobiana, essas moléculas vêm sendo exploradas no campo da pesquisa das indústrias, como a indústria alimentícia, cosmética, médica, petrolífera e na área ambiental (SINGH et al., 2007; CAMEOTRA e MAKAR, 2010).

O mercado de biossurfactantes movimentará bilhões de dólares todos os anos. Em 2022, foi avaliado em 1,2 bilhões de dólares. Segundo projeções, em 2028, o mercado terá um crescimento de 92%, e o valor será por volta de 2,3 bilhões, com uma taxa CAGR (Compound Annual Growth Rate) de 11%, de 2023 a 2028 (MARKETS AND MARKETS, 2025).

Dentre os principais biossurfactantes, destacam-se a surfactina e a iturina, lipopeptídeos produzidos por um organismo saprófito, a bactéria *Bacillus subtilis*. Esses compostos possuem atividade antibiótica e antiviral, além de sua potencial atividade de descontaminação do ambiente de substâncias tóxicas, como o petróleo (DESAI & BANAT, 1997). Entretanto, apresentam diversos desafios em relação a condições de cultivo e custos e sua baixa produtividade de algumas cepas e recuperação, o que no momento, dificulta seu uso em âmbito industrial.

O petróleo é a principal fonte de energia utilizada na produção de energia no mundo, sendo responsável por 30,2% da matriz energética mundial (IEA, 2023). Devido a sua importância, é utilizado em vários processos industriais, porém, com suas propriedades tóxicas, principalmente causadas pelos hidrocarbonetos e, danosas a diversos ecossistemas, acidentes de vazamento durante a cadeia de produção ou transporte, podem gerar sérios problemas ambientais, como contaminação do ar, da água e do solo (TRINDADE, 2005). Nesse contexto, a biorremediação, processo no qual uma população de seres vivos como os microrganismos é utilizada para a aceleração no processo de degradação de resíduos, transformando-os em formas menos tóxicas, surge como uma alternativa sustentável aos danos causados pela indústria petrolífera e petroquímica.

Sendo alternativas mais sustentáveis, principalmente quando relacionadas a biodegradabilidade e comparadas a outros agentes desinfetantes, a surfactina e a iturina vêm sendo o foco principal de diversas pesquisas, principalmente no âmbito médico e farmacêutico. Apesar de seus potenciais até agora estudados, o processo de produção dessas substâncias a partir de modelos in vivo, como o *Bacillus subtilis*, pode apresentar dificuldades no que se relaciona a quantidade ou produção de isoformas que não estas. Além da avaliação de produção, atividade biológica desses compostos, o presente estudo buscou a avaliação da análise de custos e do papel da surfactina e iturina na biorremediação do petróleo.

Metodologia

Nos cultivos descritos a seguir foram utilizadas duas cepas bases de *Bacillus subtilis* UFPEDA 438 obtidas do mesmo banco de microorganismos por meio de doação do Departamento de Antibióticos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e repiques internos do Laboratório de Engenharia Bioquímica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (LEB - UFRN) onde foram produzidas e armazenadas no banco de microrganismos a -80°C até os seus repiques, sendo a cepa A datada do ano de 2021 e a cepa B datada de 2025, ambas previamente reativadas antes do cultivo.

Quanto ao subproduto agroindustrial responsável pela produção em um meio de baixo custo foi-se utilizado um melaço de cana-de-açúcar de fundo de tacho cedido para pesquisa pela usina Japungu Agroindustrial LTDA, localizada em Nossa Sra. do Livramento, distrito da zona rural de Santa Rita - Paraíba, Brasil ($-7,112902$, $-34,978302$), cuja planta destina-se à produção de etanol.

O melaço coletado foi então conduzido ao Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB - UFRN) localizado no campus principal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, onde foi mantido a -4°C até a sua utilização no meio de cultivo, não passando por nenhum tratamento prévio.

Comparação de cultivo entre cepas:

O meio de cultivo foi preparado visando atestar a produtividade de uma cepa mais antiga e outra advinda de um maior número de repiques (Figura 1), para tanto utilizou-se uma solução tampão de fosfato a 100 mM com pH 7,0, onde se foi adicionado 0,25 g/L de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1,0 g/L de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 4% m/m de melaço de cana e 1 mL/L de uma solução de sais composta de: 0,30 g/100mL de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0,01g/100mL de CaCl_2 , 0,01g/100mL de EDTA, 0,01 g/100 mL de $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,01g/100mL de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, e 0,01g/100mL de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (ROCHA *et al*, 2019).

Nos trabalhos anteriores de ROCHA e colaboradores, 2019, as melhores condições de cultivo foram 30°C , 200 rpm, 24h e aeração de 0,4v/v, para isso, em quadruplicadas, erlenmeyers de 500mL foram preenchidos com 200 mL de meio e inoculados com 107

células de *B. subtilis* Contabilizadas por microscopia óptica em Câmara de Neubauer e levados para incubação em shaker rotatório nas condições especificadas anteriormente.

Extração dos biossurfactantes:

A surfactina e a iturina produzidas foram extraídas a partir do método de ARIMA *et al.* (1968); COOPER *et al.* (1981); KOWALL *et al.* (1998); apud ROCHA (2017).

Inicialmente, após o cultivo as células foram retiradas por centrifugação em tubos falcon de 50mL a 3500 rpm, 4°C e 15 min, em seguida o sobrenadante foi recolhido para diminuição de pH utilizando HCl 6M para precipitação dos biossurfactantes de interesse em pH 2,0 (PAIVA, 2023), enquanto o precipitado contendo as células foi descartado.

Na etapa seguinte, houve a extração por solvente utilizando Metanol P.A. (ROCHA, 2017, adaptado). Para tanto, após a precipitação dos biossurfactantes, a mistura foi filtrada por meio de filtração a vácuo, e o retido no filtro foi então lavado com 10 mL de Metanol para a ressuspensão. Após essa etapa, 20 mL de água deionizada foram adicionadas a mistura e o pH foi ajustado para 8,5 para melhor solubilização dos surfactantes e a mistura foi levado ao rotaevaporador a 70°C por 1 hora para evaporação do metanol residual (PAIVA, 2023, adaptado). Ao final dessa etapa, a solução de extrato de lipopeptídeos em água foi filtrada em 0,22 µm e seguiu para os ensaios de caracterização e biorremediação.

Caracterização por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE):

A análise de CLAE foi realizada no Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB - UFRN) utilizando o Cromatógrafo SPD-10AV VP (Shimadzu Corporation, Japão) com detector UV-VIS, equipado com coluna Shim-pack CLC-ODS (M)® C18 (250 x 4,5 mm, 100 Å, com partículas de 5 µm, Shimadzu) para cromatografia em fase reversa. Para este ensaio, a fase móvel correu em uma vazão de 1,0 mL/min a 30°C com composição de 80% acetonitrila e 20% de ácido trifluoroacético (3,8 mM) utilizando-se as curvas de Padrão Sigma de Iturina e Surfactina.

Biorremediação do petróleo:

Feita a partir do método de ARAÚJO, 2018, adaptado. Para a avaliação da recuperação do petróleo da areia contaminada, foi utilizada areia da Praia de Ponta Negra, Natal/RN. Para isso, 10g de areia foram contaminadas com 1g de óleo bruto de petróleo em triplicatas dos cultivos anteriores pelas cepas de 2021 e 2025 e ficaram em repouso por 24 horas. (Figura 2) Posteriormente, os biossurfactantes foram adicionados (10 ml, com concentrações variadas determinadas pelo cultivo) à mistura e levadas ao incubador rotativo na velocidade de 100 rpm e a 40°C, onde permaneceram por mais 24h. Logo após, a mistura de água e óleo foi transferida para tubos cônicos e levadas a centrifuga a 5000 rpm por 25 min em temperatura ambiente. Após essa etapa de separação, a fase líquida foi removida para se medir a massa restante de petróleo. Anteriormente a massa do tubo seco também foi medida para que fosse possível quantificar a massa de óleo removida. Para maior acurácia, os experimentos foram realizados em triplicata e o ensaio de controle foi realizado a partir da substituição pela água destilada nas mesmas condições.

Resultados e Discussões

Através da análise de Cromatografia líquida de alta eficiência foram identificados picos de iturina e surfactina entre as amostras analisadas. 5 Principais picos de iturina se destacaram, nos tempos de 1,88, 2,55, 2, 74, 3,22 e 3,76 min, já para a surfactina, apesar da curva apresentar 8 picos bem caracterizados, apenas 3 picos foram encontrados nos tempos de 5,59, 6,02 e 6,20. Através das equações de reta, as concentrações de ambos os lipopeptídeos foram calculadas e os resultados tratados utilizando o software Microsoft Excel 11 e são apresentados a seguir juntamente dos seus respectivos desvios para as duas cepas (Tabela 1).

Comparando ambas as cepas, percebemos uma diminuição na produtividade com o aumento do número de repiques do mesmo banco de microrganismos utilizado. A cepa mais antiga, guardada em inativação desde 2021, apresentou após reativação uma produção de iturina 3 vezes superior a cepa mais recente, fruto de 4 anos de utilização cotidiana apresentando também uma produção de $40,72 \pm 8,39$ mg de surfactina, enquanto que a sua concorrente mais recente não apresentou quantidades significativas para serem quantificadas. Tais resultados corroboram como as pesquisas desenvolvidas anteriormente com a mesma cepa por ROCHA 2017 e PAIVA 2023, onde uma diminuição na produtividade de surfactina foi observado no período de tempo de 5 anos entre os repiques, o que sugerem uma diminuição na produtividade relacionados a idade das cepas e as condições de exposição a que são submetidas quando manuseadas.

Através do ensaio de biorremediação de petróleo de área contaminada utilizando areia da Praia de Ponta Negra - Natal RN, sem qualquer pré-tratamento ou secagem, foram observados resultados superiores ao padrão na remoção do petróleo com amostra de água. (Figura 3). Enquanto que com água apenas 10,91% do óleo foi retirado, cerca do dobro foi observado com a utilização das amostras produzidas (Tabela 2).

Através da tabela acima pode-se atestar um aumento na remediação com a utilização dos biossurfactantes produzidos em meio de baixo custo como seu aumento significativo com uma maior concentração das amostras, apontando para a sua ação direta na remediação. Resultados semelhantes foram encontrados por ARAÚJO, 2018, na utilização de outra classe de surfactantes, os ramnolipídeos na biorremediação. Na pesquisa citada a autora conseguiu uma remoção de $16,8 \pm 1,6\%$ a mais que o controle com areia da praia utilizando uma concentração de 1g de surfactantes. Pela comparação em ordens de grandeza, atesta-se também a eficácia dos lipopeptídeos frente aos ramnolipídeos na biorremediação por obter resultados na mesma ordem de grandeza com menores concentrações.

Conclusão

No presente trabalho foi possível reproduzir os métodos de cultivo de baixo custo de ROCHA, 2017 em cepas mais antigas e mais novas de *Bacillus subtilis* UFPEDA 438 obtendo uma maior produtividade média de $971,53 \pm 32,36$ mg/L de Iturina na cepa que menos passou por manipulações e repiques, o que sugere uma maior atenção na rotatividade dos bancos de microrganismos dentro dos laboratórios da instituição federal com o objetivo de manter-se sempre alta produtividade. Além disso, comparando com resultados de pesquisas anteriores com a mesma cepa, viu-se uma queda brusca na produção de surfactina, indicando que nos últimos repiques a cepa perdeu sua capacidade de metabolizá-la, sugerindo uma investigação para identificar quais fatores mais contribuíram com essa perda, a fim de evitá-los futuramente.

Quanto a remediação de óleo bruto de petróleo utilizando o extrato de lipopeptídeos produzidos, foi identificado uma remoção de cerca de $\frac{1}{4}$ do óleo utilizando 10 mL da amostra produzida, indicando resultados satisfatórios até mesmo quando comparado com outra classe de biossurfactantes, os ramnolipídeos, comprovando também eficácia do extrato no campo petroquímico e ambiental.

Referências

ARAUJO, L. V. DE; FREIRE, D. M. G.; NITSCHKE, M. Biossurfactantes: propriedades anticorrosivas, antibiofilmes e antimicrobianas. Química Nova, v. 36, n. 6, p. 848–858, 2013.

ARAÚJO, Jaciara Silva de. Produção de ramnolipídeos por *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIIA usando glicose como substrato e aplicações. 2018. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

BARROS, F. F. C. et al. Surfactina: propriedades químicas, tecnológicas e funcionais para aplicações em alimentos. Química Nova, v. 30, n. 2, p. 409–414, abr. 2007.

CAMEOTRA, S. S.; MAKAR, R. S. Biosurfactant-enhanced bioremediation of hydrophobic pollutants. Pure and Applied Chemistry, v. 82, n. 1, p. 97-116, 2010.

CLSI, Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically, 11th ed. CLSI standard M07. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2018.

DALTIN. Tensoativos. [s.l.] Editora Blucher, 2011.

DAS, N.; CHANDRAN, P. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: An overview. Biotechnology Research International, v. 2011, 2011.

DESAI, J D, and I M Banat. "Microbial production of surfactants and their commercial potential." *Microbiology and molecular biology reviews: MMBR* vol. 61,1 (1997): 47-64.

FELIPE, Lorena de Oliveira; DIAS, Sandra de Cássia. Surfactantes sintéticos e biossurfactantes. *Quim. Nova.: vantagens e desvantagens*, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 228-236, ago. 2017. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_3/03-QS-34-16.pdf.

GONZAGA, Livia Vieira. Spray dried surfactin as potentiating agent of bioremediation of oil- contaminated soil. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado em Associações micorrízicas; Bactérias lácticas e probióticos; Biologia molecular de fungos de interesse) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

MAGALHÃES, Augusto Vieira. Análise técnico-econômica preliminar do processo de produção de surfactina. 2019. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

MENEZES, MAÍRA. Fiocruz. Covid-19: Película de detergente pode auxiliar em desinfecção. 2020. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/covid-19-pelicula-de-detergente-pode-auxiliar-em-desinfeccao>.

OKOH, A. I. Biodegradation alternative in the cleanup of petroleum hydrocarbon pollutants. *Biotechnology and Molecular Biology Review*, v. 1, n. 2, p. 38-50, 2006.

MILLER, G. L.. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 426-428, 1 mar. 1959. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ac60147a030>.

PAIVA, Wilza Kimilly Vital de. Produção de surfactina por *Bacillus subtilis* UFPEDA 438 a partir de melaço de cana e avaliação de suas atividades biológicas incluindo a in silico frente ao SARS-CoV-2. Orientador: Everaldo Silvino dos Santos. 2023. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

ROCHA, Patrícia Maria. Produção de surfactina por *Bacillus subtilis* UFPEDA 438 utilizando melaço de cana como substrato. 2017. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

ROCHA, Patrícia Maria; MENDES, Ana Carmen dos Santos; OLIVEIRA JÚNIOR, Sérgio Dantas de; PADILHA, Carlos Eduardo de Araújo; LEITÃO, Ana Laura Oliveira de Sá; NOGUEIRA, Cleitiane da Costa; MACEDO, Gorete Ribeiro de; SANTOS, Everaldo Silvino dos. Kinetic study and characterization of surfactin production by *Bacillus subtilis* UFPEDA 438 using sugarcane molasses as carbon source. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, [S.L.], v. 51, n. 3, p. 300-308, 11 set. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10826068.2020.1815055>.

SILVA OLIVEIRA, T. et al. Atividade antimicrobiana do biossurfactante produzido por *Pseudomonas* sp. *CCMICS 105. Scientia Plena*, v. 18, n. 1, 17 fev. 2022.

SINGH, A.; HAMME, J. D. V.; WARD, O. P. Surfactants in microbiology and biotechnology: Part 2. Application aspects. *Biotechnology Advances*, v. 25, p. 99-121, 2007

STATISTICA. Production value of chemical disinfectant* in the European Union (EU-27) from 2014 to 2020 (in 1,000 euros). 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/830618/chemical-disinfectant-production-value-europe/>.

STEIN, Torsten. *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, syntheses and specific functions. *Molecular Microbiology*, [S.L.], v. 56, n. 4, p. 845-857, 9 mar. 2005. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x>.

TABBENE, O. KARKOUCH, I. ELKAHOUI, S., COSETTE, P., MANGONI, M., JOUENNE, T., LIMAM, F. A new antibacterial and antioxidant S07-2 compound produced by *Bacillus subtilis* B38, *FEMS Microbiology Letters*, Volume 303, Issue 2, February 2010, Pages 176–182, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2009.01875.x>.

TRINDADE, P. V. O. et al. Bioremediation of a weathered and a recently oil-contaminated soils from Brazil: a comparison study. *Chemosphere*, v. 58, n. 4, p. 515–522, jan. 2005.

VOLLENBROICH D, OZEL M, VATER J, KAMP RM, PAULI G. Mechanism of inactivation of enveloped viruses by the biosurfactant surfactin from *Bacillus subtilis*. *Biologicals*. 1997 Sep;25(3):289-97. doi: 10.1006/biol.1997.0099. PMID: 9324997.

Anexos



Figura 1: Cepa de *B. subtilis* UFPEDA 438 repique 2025.



Figura 2: Sistema contendo areia da praia contaminada com 10% de óleo bruto (Erlenmeyers) e solução de extrato de lipopeptídeos (tubo de ensaio).



Tabela 1: Produtividade de lipopeptídeos por cepa utilizada em cultivo de *B. subtilis* UFPEDA 438.



Figura 3: Comparação entre óleo removido com água e com amostra de biossurfactante.



Tabela 2: Porcentagem média de óleo bruto removido por remediação por amostra utilizada.

CÓDIGO: ET0973

AUTOR: JOÃO ANTÔNIO PEDRO DIMITRI FARIAS MARTINS DE LIMA

ORIENTADOR: ADAILDO GOMES D ASSUNCAO

TÍTULO: Projeto e Análise de Antena de Microfita com Polarização Circular e Cantos Truncados para a Banda ISM de 2,45 GHz

Resumo

Este artigo apresenta a simulação e o projeto de uma antena patch de microfita com polarização circular para operar na faixa de 2,45 GHz. A antena é impressa sobre um substrato de FR-4 e alimentada por sonda coaxial. A polarização circular é obtida pela inserção de dois truncamentos triangulares, diagonalmente opostos, na geometria de um patch metálico quadrado. Os resultados simulados apresentaram largura de banda, BW, de 190 MHz, na faixa de operação de 2,36 a 2,55 GHz, e razão axial (AR), inferior a 3 dB entre 2,42 e 2,46 GHz. Um protótipo da antena foi fabricado, permitindo observar concordância entre os resultados simulados e medidos, validando a técnica de projeto utilizada.

Palavras-chave: Polarização circular, Antena de microfita, Razão axial, 5G, Ondas

TITLE: Design and Analysis of a Circularly Polarized Truncated-Corner Microstrip Antenna for the 2.45 GHz ISM Band

Abstract

This article presents the simulation and design of a circular polarization patch antenna to operate in the 2.45 GHz range. The antenna is printed on a FR-4 substrate such as and fed by coaxial probe. Circular polarization is obtained by the insertion of two diagonally opposite triangular tranches in the geometry of a square metal patch. The simulated results presented bandwidth, BW, 190 MHz, in the operating range of 2.36 to 2.55 GHz, and axial ratio (AR), less than 3 dB between 2.42 and 2.46 GHz. An antenna prototype was manufactured, allowing to observe agreement between the simulated and measured results, validating the design technique used.

Keywords: Circular polarization, microstrip antenna, axial ratio, 5G, waves

Introdução

As antenas de polarização circular (CP) possuem vantagens expressivas em relação às de polarização linear (LP), sendo eficazes na redução de interferências, multipercursos e eliminação da orientação precisa entre transmissor e receptor [1]. Elas são utilizadas em diversas aplicações como no 5G, em ondas milimétricas (mmWave), com as características principais de baixo custo e alta estabilidade [2]. Também possibilitam reduzir as desvantagens naturais das antenas Vivaldi do tipo meia-onda (HVA) [3], uma antena de banda larga operando através da conversão da polarização linear (LP) para circular (CP) com projeto baseado no uso de metamaterial [4]. As estruturas de antenas com formatos dos patches condutores inspirados em símbolos da cultura oriental apresentam largura de banda e razão axial (AR) elevadas [5].

A técnica de cantos truncados (truncated corner) é uma das formas de obter polarização circular [6-9]. Uso em arranjos de antenas para aplicação em comunicações LTE [10], coleta de energia sem fio (energy harvesting) em diferentes orientações [11].

Neste artigo, uma antena circularmente polarizada (CP) com geometria de patch quadrado com dois cantos truncados, com formas triangulares, em posições diagonalmente opostas é apresentada, permitindo observar que ela produz uma razão axial (AR) inferior a 3 dB na frequência de operação. Dados experimentais mostram que essa antena apresenta uma razão de onda estacionária de tensão (VSWR) inferior a 2 entre 2,36- 2,55 GHz com largura de banda (BW) de 190 MHz.

Metodologia

A polarização circular pode ser obtida se dois modos ortogonais forem excitados com uma diferença de fase de 90° entre eles [12]. A inserção de cantos truncados, com formatos triangulares e diagonalmente opostos no patch condutor, permite atender à essa exigência de projeto com a utilização de apenas um ponto de alimentação, sendo normalmente efetuada pelo plano de terra, através de um cabo coaxial, ou sonda. [1].

A etapa inicial do projeto da antena com polarização circular através da técnica mencionada, consiste no projeto de uma antena microfita com patch quadrado, requerendo a determinação das suas dimensões físicas que são

determinadas a partir da escolha da frequência de ressonância, no caso ($\epsilon_r = 4,4$ e tangente de perdas $\tan\delta = 0,02$). Com a definição dessas características é possível obter, através de (1) e (2), o comprimento L e a largura W do patch condutor, respectivamente, como sendo $L=W=28,61$ mm.

A Figura 1(a) apresenta a vista superior do patch com suas dimensões correspondentes ao desenho, a Figura 1.b mostra a vista lateral. A simulação da estrutura foi efetuada com o uso do software comercial Ansys HFSS. A área das regiões triangulares truncadas é calculada por D_s (3) e a área do patch s (4), d é um comprimento lateral da parte a ser retirada. Por meio de (5) e com base no fator de qualidade da antena é determinada a quantidade de perturbação entre D_s e s [7-11].

O fator de qualidade é uma figura de mérito que representa as perdas da antena [12]. A sua determinação é efetuada através de (6) e depende das perdas por radiação, condução, no dielétrico e por ondas de superfície, que podem ser calculadas com o uso de (7) a (10). Para o projeto da antena de microfita, o efeito de pode ser desprezado. [11]

O parâmetro é a condutividade do cobre σ e os demais foram determinados. A utilização dos valores determinados em (7) e (9) permite obter uma perda por radiação de 128,64, no condutor, de 1176 e no dielétrico de 50, resultando em um fator de qualidade de 34,93. Por meio de otimização realizada no software HFSS foi obtido que $d = 4,5$ mm.

A etapa final consiste na determinação da posição de alimentação da antena, x e y . Como o provimento é pelo substrato se calcula a constante dielétrica efetiva, ϵ_{eff} (10), obtendo o valor de 4,02. O ponto no eixo x (P_x) é a metade do valor de W [6] e o eixo y (P_y) é dado por (11) o qual relaciona L com ϵ_{eff} [8]. Se obtém P_x e P_y iguais a 14,30 mm e 7,13 mm, respectivamente. A Tabela 1 apresenta os valores determinados.

Resultados e Discussões

A Figura 2(a) apresenta o valor do coeficiente de reflexão (S_{11}) para o caso simulado e medido. A curva simulada (azul) apresentou frequências entre 2,36 e 2,55 GHz com BW = 190 MHz e, já a curva dos valores medidos (vermelha) mostrou ressonância entre 2,41 e 2,57 GHz com BW = 160 MHz e . Houve concordância entre simulação e prática, esta antena apresentou BW cerca de duas vezes maior em relação ao patch retangular [14] e VSWR, figura 2(b), com curvas de simulação e medição apresentando boa concordância.

Na Figura 3 é apresentado o resultado obtido para o coeficiente de reflexão em função da frequência, sendo a razão axial definida para a determinada para o limiar de 3 dB, que está entre 2,42 e 2,46 GHz, 21% da banda total. Nessa faixa, a polarização circular ocorre de maneira eficiente para a frequência projetada para a antena. Essa característica favorece a sua operação na faixa das comunicações de 2,45 GHz, a banda ISM (Industrial, Scientific, and Medical) em que funcionam diversos serviços como Wi-Fi, Bluetooth, drones, entre outros. A Figura 4 apresenta o protótipo fabricado. A geometria quadrada e a alimentação por sonda coaxial se destacam pela simplicidade de fabricação e otimização do espaço disponível.

Conclusão

Este artigo apresentou o projeto, a simulação e a medição de uma antena de microfita com polarização circular. Com base na técnica de cantos truncados, a antena apresentou largura de banda de 160 MHz e polarização circular na faixa de frequência desejada. Houve boa concordância entre resultados simulados e medidos. O protótipo desenvolvido atende os requisitos para aplicações na banda ISM, como por exemplo Wi-Fi e Bluetooth.

Referências

- [1] S. S. Gao, Q. Luo, and F. Zhu, Introduction to circularly polarized antennas, in Circularly Polarized Antennas. Hoboken, NJ, USA: Wiley-IEEE 2014. doi.org/10.1002/9781118790526.ch1.
- [2] Y. -H. Yang, B. -H. Sun and J. -L. Guo, A Single-Layer Wideband Circularly Polarized Antenna for Millimeter-Wave Applications, in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 68, no. 6, pp. 4925-4929, June 2020. doi.org/10.1109/TAP.2019.2951518.

- [3] X. -Y. Sun et al., Ultrawideband Circularly Polarized Halved-Type Vivaldi Antenna With Symmetrical Radiation Pattern, in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 23, no. 2, pp. 633-637, Feb. 2024.
doi.org/10.1109/LAWP.2023.3331383
- [4] Q. -W. Lin, S. Alkaraki, H. Wong and J. R. Kelly, A Wideband Circularly Polarized Antenna Based on Anisotropic Metamaterial, in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 71, no. 2, pp. 1254-1262, Feb. 2023.
doi.org/10.1109/TAP.2022.3225157
- [5] Li, B., Yin, Y., Ding, Y. and Xie, J. (2012), A Tai-Ji shaped circularly polarized antenna with wide axial ratio bandwidth. Microw. Opt. Technol. Lett., 54: 2790-2792. doi.org/10.1002/mop.27162
- [6] NASCIMENTO, D. C.; FABIANI, Bernardo M.; LACAVA, J. C. S. Performance Analysis of Probe-Fed Circularly-Polarized Moderately-Thick Microstrip Antennas Designed under the Null Reactance Condition. Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, v. 17, n. 1, p. 1-9, 2018. doi.org/10.1590/2179-10742018v17i11075
- [7] RANJAN, Prafull; MISHRA, Saurabh. Design of Circularly polarized rectangular patch antenna with single cut. In: Conference on Advances in Communication and Control Systems (CAC2S 2013). Atlantis Press, 2013. p. 174-177.
- [8] MOKAL, Ms Varsharani; GAGARE, Prof SR; LABADE, Dr RP. Analysis of Micro strip patch Antenna Using Coaxial feed and Micro strip line feed for Wireless Application. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering, v. 12, n. 03, p. 36-41, 2017.
doi.org/10.9790/2834-1203033641
- [9] SANTOS, Heric Weverton dos. Desenvolvimento de antenas de microfitas miniaturizadas com polarização circular para sistemas de comunicações sem fio. 2016. 27f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- [10] ALAM, Syah et al. Design of array and circular polarization microstrip antenna for LTE communication. In: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018. p. 03006. doi.org/10.1051/mateconf/201821803006
- [11] HU, Chuang; DAI, Yawen. Design and implementation of a 2.45 GHz circularly polarized microstrip antenna for wireless energy harvesting. In:

2016 5th International Conference on Environment, Materials, Chemistry and Power Electronics. Atlantis Press, 2016. doi.org/10.2991/emcpe-16.2016.102

[12] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, 4^a Ed. John Wiley & Sons Inc. 2016

[13] Wen-Shyang Chen, Chun-Kun Wu and Kin-Lu Wong, Novel compact circularly polarized square microstrip antenna, in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 49, no. 3, pp. 340-342, March 2001. doi.org/10.1109/8.918606.

[14] S. u. Rehman, W. A. Haider, K. Khalid, O. Farooq and U. mahmood, Design and Comparative Analysis of 2.45 GHz Rectangular microstrip Patch Antenna, 2020 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET), Lahore, Pakistan, 2020, pp. 1-5, doi.org/10.1109/ICEET48479.2020.9048228.

Anexos



Equação 1 - Comprimento do Patch



Equação 2 - Largura do Patch



Figura 1-a - Vista superior da antena



Figura 1-b - Vista lateral da antena



Equação 3 - Area da regio truncada



Equação 4 -Area do patch



Equação 5 - Relação entre região a ser removida e fator de qualidade



Equação 6 - Fatores de qualidade na antena patch



Equação 7 - Perdas por radiação



Equação 8 - Perdas por condução



Equação 9 - Perdas no dielétrico



Equação 10 - Constante dielétrica efetiva



Equação 11- Ponto no eixo y referente a alimentação



Tabela 1 -Dimensões da antena patch circularmente polarizada com cantos truncados



Figura 2-a - S11 simulado vs medido



Figura 2-b - VSWR simulado vs medido



Figura 3- Razão axial simulada



Figura 4 - Prototipo desenvolvido

CÓDIGO: ET1074

AUTOR: PEDRO EMANUEL PORPINO MENDES

ORIENTADOR: VALDEMIR PRAXEDES DA SILVA NETO

TÍTULO: Desenvolvimento de Estrutura DGS para aplicações em Sensoriamento das Propriedades de Materiais de Construção

Resumo

Este trabalho apresenta o projeto e a análise comparativa de sensores de micro-ondas baseados em Defected Ground Structures (DGS) para a detecção de umidade em materiais de construção. Três geometrias foram investigadas — circular, quadrada e octogonal — por meio de simulações no HFSS. Os sensores foram avaliados pelo parâmetro de transmissão S_{21} , com ênfase nos deslocamentos da frequência de ressonância devido à variação da permissividade relativa do material sob teste. Foram calculados parâmetros de desempenho como sensibilidade, percentual de deslocamento da frequência de ressonância (PRFS), erro máximo e coeficiente de determinação (R^2). Ajustes polinomiais foram aplicados para relacionar permissividade e frequência de ressonância. Os resultados mostraram que todos os sensores apresentaram deslocamentos previsíveis da frequência com o aumento da permissividade. O sensor circular destacou-se pela maior linearidade, o quadrado pela sensibilidade mais elevada e o octogonal apresentou resposta intermediária, conciliando estabilidade e precisão. Assim, sensores baseados em DGS mostram-se promissores para o monitoramento em tempo real da umidade em concreto, argamassa e solos, oferecendo alternativa de baixo custo e alta sensibilidade para aplicações em engenharia civil.

Palavras-chave: micro-ondas, DGS, detecção de umidade, caracterização dielétrica.

TITLE: Design and Comparative Analysis of DGS-Based Microwave Sensors for Moisture Detection in Construction Materials

Abstract

This work presents the design and comparative analysis of microwave sensors based on Defected Ground Structures (DGS) for moisture detection in construction materials. Three geometries were investigated—circular, square, and octagonal—using HFSS simulations. The sensors were evaluated through the transmission parameter S_{21} , with emphasis on resonance frequency shifts caused by variations in the relative permittivity of the material under test. Performance metrics such as sensitivity, percentage of

resonance frequency shift (PRFS), maximum error, and coefficient of determination (R^2) were calculated. Polynomial fitting was applied to establish analytical relations between permittivity and resonance frequency. Results show that all sensors exhibited predictable frequency shifts with increasing permittivity. The circular sensor demonstrated superior linearity, the square geometry achieved higher sensitivity, and the octagonal design provided an intermediate response, balancing stability and accuracy. These findings indicate that DGS-based sensors are effective tools for dielectric characterization and can be applied in real-time monitoring of moisture in concrete, mortar, and soil, offering a low-cost and high-sensitivity alternative for civil engineering.

Keywords: Microwave sensors, DGS, humidity detection, dielectric characterization

Introdução

Introdução

O sensoriamento de materiais por meio de micro-ondas tem se tornado uma alternativa promissora para diversas aplicações industriais, em especial na área da construção civil, onde a avaliação não destrutiva da umidade em materiais é crucial para garantir a durabilidade, segurança estrutural e eficiência energética das edificações. Métodos tradicionais de medição de umidade, como técnicas gravimétricas ou químicas, costumam ser invasivos, lentos e exigem preparação extensiva das amostras [1][2]. Nesse contexto, sensores de micro-ondas baseados em estruturas ressonantes surgem como soluções eficazes, oferecendo medições rápidas, reproduzíveis e com alto potencial de integração em sistemas de monitoramento contínuo [2]. Entre as topologias ressonantes, destaca-se o uso de estruturas de plano de terra defeituoso, conhecidas como Defected Ground Structures (DGS) [3]. A configuração DGS permite a manipulação das propriedades de propagação da linha de microfita por meio de cavidades ou fendas gravadas no plano de terra, resultando em forte acoplamento eletromagnético e aumento da sensibilidade do sensor [4]. Uma variação amplamente estudada é a CRSS (Complementary Ring Split Structure), que consiste em um ou mais anéis ressonantes acoplados à linha de microfita. Essas estruturas combinam simplicidade de fabricação, baixo custo e elevada capacidade de detecção de variações na permissividade dielétrica do material em teste (MUT), características especialmente vantajosas para aplicações em campo. Diversos estudos na literatura demonstram a eficácia dos sensores DGS para caracterização dielétrica. Por exemplo, trabalhos [4] demonstraram a viabilidade do uso de CRSS circulares na detecção de diferentes materiais de construção, destacando a boa sensibilidade e linearidade na faixa de 2 a 4 GHz. No entanto, ainda são escassas as investigações comparativas entre diferentes geometrias de CRSS visando otimizar a resposta do sensor. [5][2]. Neste trabalho, propõe-se a análise comparativa de três topologias geométricas distintas de CRSS: circular, quadrada e octogonal. Todas as estruturas foram projetadas com dimensões compatíveis, operando na mesma frequência central, e submetidas a simulações no software HFSS com variações de permissividade do MUT entre 1 e 10. A análise incluiu os parâmetros de espalhamento (S_{21}), deslocamento de frequência, sensibilidade média e coeficiente de correlação linear (R^2) para cada configuração. O objetivo principal é identificar qual geometria apresenta melhor desempenho na detecção

de umidade em materiais, contribuindo para o desenvolvimento de sensores mais eficientes, robustos e aplicáveis em ambientes reais da engenharia civil.

Metodologia

2. Materiais e Métodos 2.1 Métodos de Cálculo Para avaliar o desempenho dos sensores ressonantes projetados com diferentes geometrias de CRSS (Circular, Quadrado e Octogonal), é necessário obter a variação na frequência de ressonância (f_r) e a variação na permissividade do material sob teste (MUT_{er}); a razão entre elas permite determinar a sensibilidade do dispositivo [6]. foram considerados os seguintes parâmetros principais: a) Variação de Frequência de Ressonância (Δf) A frequência de ressonância foi obtida a partir da simulação do parâmetro S21 (coeficiente de transmissão), identificando o ponto de mínima intensidade [1][4]. Para cada valor da permissividade relativa do MUT (Material Under Test), registrou-se a frequência correspondente, e a variação foi calculada conforme: Equação (1) – Variação da frequência de ressonância do sensor em função da permissividade relativa do material sob teste. b) Sensibilidade A sensibilidade foi obtida como a razão entre a variação de frequência e a variação da permissividade do MUT: Equação (2) – Definição da sensibilidade do sensor em relação à variação da permissividade. Esta métrica permite comparar o quanto a frequência de ressonância se desloca por unidade de aumento na constante dielétrica do material [7][3]. c) PRFS (Porcentagem de Variação em Relação à Frequência de Ressonância) O PRFS (Percentage Resonant Frequency Shift) foi calculado para normalizar a variação de frequência em relação à frequência central inicial [1][5]. Sua fórmula é: Equação (3) – Cálculo do parâmetro PRFS (Porcentagem de Deslocamento da Frequência de Ressonância). Essa medida possibilita avaliar o deslocamento relativo do notch ressonante, sendo útil para comparação entre sensores que operam em diferentes bandas de frequência. 2.2 Substrato e Materiais O substrato utilizado para a fabricação dos sensores foi o FR-4, um material amplamente empregado em aplicações de micro-ondas devido ao seu baixo custo e razoável desempenho dielétrico. As dimensões do substrato adotadas foram de 50 mm × 80 mm × 1,6 mm, correspondendo à largura, comprimento e espessura, respectivamente. O plano de terra (ground plane) foi implementado em cobre, ocupando toda a face inferior do substrato, garantindo boa condutividade elétrica e suporte ao modo de propagação da linha de microfita. A linha de alimentação dos sensores foi feita em linha de microfita, também confeccionada em cobre, localizada na face superior do substrato. A largura da linha foi ajustada para garantir o casamento de impedância com 50 ohms. As dimensões e posicionamento foram: Largura (w): 2 mm Comprimento (l): 30 mm, Posição da linha (x, y, z): aproximadamente em (24 mm, 0 mm, 1,6 mm), centralizada longitudinalmente sobre o substrato, na parte superior. Figura 1 – Modelo geométrico do sensor proposto no trabalho. Essa configuração garante a propagação eficiente do sinal de excitação e acoplamento adequado com as estruturas ressonantes utilizadas nos sensores[4]. O sensor proposto é composto por linhas de transmissão microfita acopladas a uma estrutura de CRSS (Complementary Ring Split Structure) inserida em seu elemento central. Além disso, dois parâmetros fundamentais para a análise da frequência de ressonância do sensor são a capacitância C_c e a indutância L_c , que representam, respectivamente, a capacitância e a indutância associadas à célula unitária do CRSS [7]. Assim, o modelo de circuito concentrado do sensor pode ser representado pela frequência de ressonância dada pela Equação: Equação (4) – Frequência de ressonância De forma a melhorar as características de sensibilidade do

sensor, a inclusão da estrutura CRSS no elemento central se mostra essencial. A capacitância total C_c é fortemente influenciada pelas propriedades elétricas do material posicionado sobre a região ranurada, devido ao efeito de campo concentrado produzido pelo anel complementar. Essa característica justifica a implementação da topologia, uma vez que permite correlacionar a resposta em frequência com a constante dielétrica efetiva dos materiais sob teste [8]. A capacitância C_c pode ser expressa pela Equação: Equação (5) – Expressão da capacitância equivalente associada à estrutura ressonante. em que C_0 representa a capacitância intrínseca entre o condutor e o substrato, enquanto SUPCe corresponde à contribuição capacitiva adicional introduzida pelo MUT. Essa decomposição simplificada tem sido aplicada com sucesso em trabalhos recentes [1][4][5], justificando sua utilização neste estudo para a análise e comparação do desempenho de diferentes geometrias CRSS na detecção de umidade em materiais de construção. 2.3 Topologias dos Sensores Nesta seção, são apresentadas as três topologias de sensores baseadas em estruturas ressonantes com fenda complementar em anel (Complementary Ring Split Structure — CRSS), que diferem entre si pela geometria dos anéis: circular, quadrada e octogonal. Todos os sensores foram projetados com dois anéis concêntricos acoplados a uma linha de microfita, posicionados simetricamente no plano metálico inferior. Sensor 1 — CRSS Circular Geometria: Anéis circulares concêntricos com fenda (split). Figura 2 – Estrutura do Sensor 1 (Circular). Tabela 1 – Parâmetros extraídos das simulações do Sensor 1 (Circular). Observação: Essa topologia circular é a mais comum na literatura devido à sua simetria e resposta previsível em micro-ondas. Sensor 2 — CRSS Quadrado Geometria: Anéis quadrados concêntricos com fenda em um dos lados. Figura 3 – Estrutura do Sensor 2 (Quadrangular). Tabela 2 – Parâmetros extraídos das simulações do Sensor 2 (Quadrangular). Observação: A geometria quadrada gera campos elétricos mais concentrados nos cantos. Sensor 3 — CRSS Octogonal Geometria: Anéis octogonais regulares com fenda. Figura 4 – Estrutura do Sensor 3 (Octogonal). Tabela 3 – Parâmetros extraídos das simulações do Sensor 3 (Octogonal).

Resultados e Discussões

3. Resultados e Discussão. 3.1 Curvas de Resposta (Parâmetros S) Para avaliar o desempenho dos sensores projetados, foi realizada uma análise detalhada por meio de simulações eletromagnéticas dos parâmetros de espalhamento (S-parameters), com especial ênfase no parâmetro S_{21} , em função da frequência. Essa abordagem é fundamental, pois o parâmetro S_{21} fornece informações diretas sobre a transmissão do sinal através da estrutura, permitindo identificar de forma clara as condições de ressonância de cada topologia proposta[2][5][9]. Inicialmente, as curvas de resposta em frequência foram obtidas na ausência do material sob teste (MUT), condição conhecida como "não carregada". Esse procedimento tem como objetivo estabelecer a frequência de ressonância base de cada sensor, a partir da qual serão avaliadas as variações produzidas pela inserção dos diferentes materiais [10]. A análise comparativa foi conduzida considerando três geometrias distintas de CRSS: circular, quadrada e octogonal. A simulação nessas condições iniciais possibilita observar o comportamento intrínseco de cada configuração geométrica, isolando os efeitos estruturais e garantindo que qualquer deslocamento posterior das frequências de ressonância esteja unicamente associado à interação do campo eletromagnético com o MUT [11]. Dessa forma, os resultados obtidos nessa primeira etapa constituem a referência fundamental para as análises subsequentes de sensibilidade e linearidade, permitindo avaliar qual das geometrias apresenta maior

potencial para aplicação prática na caracterização dielétrica de materiais de construção.

a) Sensor 1 – CRSS Circular No caso do sensor circular, observa-se que a geometria proposta apresenta um comportamento estável e previsível em função da permissividade relativa do material sob teste. O princípio de operação baseia-se no deslocamento da frequência de ressonância em decorrência da variação da capacitância equivalente introduzida pelo MUT [12]. À medida que a permissividade aumenta, a frequência de ressonância decresce de forma monotônica, permitindo a utilização desse deslocamento como parâmetro de calibração. A sensibilidade do sensor foi calculada considerando-se a variação de frequência em função da permissividade. Para a faixa experimental investigada, compreendida entre $\epsilon = 1$ e $\epsilon = 10$, a frequência de ressonância variou de aproximadamente 2,76 GHz para 1,76 GHz, resultando em uma sensibilidade média de 0,111 GHz por unidade de permissividade, equivalente a 111 MHz/ ϵ . Esse valor representa uma taxa relativa de aproximadamente 4,2% de variação de frequência por incremento unitário de ϵ , o que confirma a boa capacidade do sensor em distinguir mudanças sutis no material sob teste. Tabela 4 – Relação entre permissividade relativa (ϵ) e frequência de ressonância para o Sensor 1 (Circular). Adicionalmente, o desempenho foi quantificado pelo percentual de deslocamento relativo da frequência de ressonância (PRFS). Considerando a frequência inicial no ar (2,76 GHz), obteve-se um deslocamento máximo de aproximadamente 36,2% ao atingir $\epsilon = 10$. Esse resultado indica que a estrutura circular apresenta uma faixa de variação ampla e adequada para aplicações de sensoriamento em materiais de construção.[4] O ajuste polinomial obtido para a calibração da permissividade em função da frequência foi dado por $\epsilon(f) = -1,3207f^3 + 16,171f^2 - 60,974f + 74,39$ com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9936$. Esse valor elevado demonstra a robustez do modelo proposto, assegurando que a equação pode ser utilizada para estimar com precisão a permissividade do material a partir da frequência medida. Em termos práticos, esses resultados evidenciam que a geometria circular não apenas apresenta alta sensibilidade, mas também mantém linearidade satisfatória e previsibilidade elevada, reforçando seu potencial como solução eficiente e de baixo custo para monitoramento de umidade em materiais empregados na construção civil.[12] Figura 5 – Gráfico da variação da frequência de ressonância do Sensor 1 (Circular) em função da permissividade relativa (ϵ).

b) Sensor 2 – CRSS Quadrado No caso do sensor quadrado, a geometria mantém o mesmo princípio básico do ressonador acoplado à linha de microfita, mas com diferenças importantes na distribuição do campo elétrico. Devido à presença de arestas e vértices, a concentração de campo próximo às bordas torna-se mais intensa, favorecendo maior interação com o material sob teste (MUT). Esse comportamento aumenta a resposta do sensor a variações da permissividade, mas também gera maior curvatura na relação entre frequência e ϵ [4]. Na prática, isso significa que a topologia quadrada tende a apresentar maior sensibilidade global, ao custo de uma menor linearidade quando comparada à geometria circular [13]. A sensibilidade média determinada para a faixa de $\epsilon = 1$ a $\epsilon = 10$ foi de aproximadamente 0,094 GHz/ ϵ , equivalente a 94 MHz por unidade de permissividade. Valores locais obtidos pela derivada do modelo indicam que a sensibilidade varia entre 80 e 95 MHz/ ϵ , dependendo do ponto considerado. Esse nível de sensibilidade é relevante porque permite distinguir pequenas diferenças de permissividade, algo essencial em aplicações como monitoramento de umidade em materiais de construção, onde variações de umidade da ordem de poucos pontos percentuais já implicam mudanças significativas nas propriedades mecânicas e elétricas do material. Entretanto, uma consequência direta desse comportamento é que o sensor quadrado pode se tornar mais suscetível a ruídos experimentais ou variações ambientais, já que uma pequena oscilação de frequência pode

ser interpretada como uma variação considerável de permissividade. Isso exige maior cuidado na calibração e no controle das condições de medição [14]. Tabela 5 – Relação entre permissividade relativa (ϵ_r) e frequência de ressonância para o Sensor 2 (Quadrangular). Em termos de deslocamento percentual da frequência (PRFS), o sensor quadrado apresentou valores expressivos. Considerando a frequência inicial de 2,29 GHz, obteve-se um deslocamento máximo de aproximadamente 37,2% para $\epsilon = 10$. Em valores intermediários, como $\epsilon = 5$, o PRFS foi de 23,1%. Esses números indicam que a geometria quadrada consegue explorar uma faixa de variação de frequência muito ampla, o que é uma vantagem em termos de faixa dinâmica do sensor [15]. Em contrapartida, deslocamentos percentuais muito elevados, embora evidenciem alta sensibilidade, podem comprometer a previsibilidade da resposta em aplicações práticas, pois tornam o modelo mais dependente de correções polinomiais de maior ordem para garantir a estimativa correta da permissividade. A calibração do sensor foi obtida por meio de um ajuste polinomial de terceira ordem, expresso por $\epsilon(f) = -7,8895f^3 + 52,913f^2 - 124,11f + 102,47$, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9996$. O valor extremamente elevado de R^2 demonstra que o modelo reproduz os dados experimentais com grande precisão e pode ser utilizado com segurança para estimativas de ϵ_r dentro da faixa investigada. Todavia, deve-se considerar que a dependência cúbica da curva reflete a menor linearidade do sensor quadrado em relação ao circular, tornando sua resposta menos previsível fora da faixa de calibração ou em condições de extrapolação [16].

Figura 6 – Gráfico da variação da frequência de ressonância do Sensor 2 (Quadrangular) em função da permissividade relativa (ϵ_r). Em síntese, o sensor quadrado combina uma elevada sensibilidade com um deslocamento percentual da frequência bastante amplo, características que o tornam promissor em situações onde a prioridade é detectar pequenas variações na permissividade com alta resolução. No entanto, essa maior sensibilidade traz como consequência uma maior vulnerabilidade a incertezas experimentais, além de exigir equações de calibração mais complexas para manter a confiabilidade da resposta. Dessa forma, sua aplicação prática deve equilibrar o ganho em sensibilidade com a necessidade de maior controle experimental e maior rigor na modelagem matemática.

c) Sensor 3 – CRSS Octogonal O sensor octogonal apresenta-se como uma geometria intermediária entre as topologias circular e quadrada. Sua concepção busca combinar a simetria parcial da estrutura circular, que favorece previsibilidade e estabilidade, com o aumento da superfície de arestas da estrutura quadrada, que tende a intensificar o acoplamento elétrico com o material sob teste (MUT). Do ponto de vista eletromagnético, o octógono distribui o campo de forma menos concentrada nos vértices do que o quadrado, mas ainda com maior interação superficial do que o círculo. Essa característica confere à geometria octogonal um comportamento de compromisso, no qual se busca equilibrar sensibilidade elevada e resposta linearizada [4][5][11]. A sensibilidade do sensor foi determinada a partir da variação de frequência na faixa de permissividade estudada, de $\epsilon = 1$ até $\epsilon = 10$. Os resultados mostraram um deslocamento de aproximadamente 2,52 GHz para 1,59 GHz, resultando em uma variação de $\Delta f \approx 0,93$. Considerando $\Delta \epsilon = 9$, a sensibilidade média obtida foi de $S_f \approx 0,103 \text{ GHz}/\epsilon$, equivalente a 103 MHz por unidade de permissividade. Esse valor é superior ao do sensor circular e ligeiramente acima do sensor quadrado, demonstrando que o octógono responde de forma bastante eficiente a incrementos na permissividade. Em termos relativos, tomando como referência a frequência inicial de 2,52 GHz, a taxa de variação corresponde a aproximadamente 4,1% por unidade de ϵ . Essa ordem de grandeza garante que o sensor octogonal seja capaz de distinguir diferenças pequenas de permissividade, o que o torna promissor em aplicações de monitoramento de umidade, em que a sensibilidade elevada é

fundamental. Tabela 6 – Relação entre permissividade relativa (ϵ_r) e frequência de ressonância para o Sensor 3 (Octogonal). No que se refere ao deslocamento percentual da frequência de ressonância (PRFS), os valores obtidos confirmam a expressiva resposta do octógono. Para $\epsilon = 10$, o PRFS atingiu aproximadamente 36,9%, valor comparável ao observado para o sensor quadrado (37,2%) e ligeiramente superior ao circular (36,2%). Em pontos intermediários, como em $\epsilon = 5$, o PRFS alcançou 22,6%, evidenciando que a curva mantém crescimento monotônico ao longo de toda a faixa. O deslocamento percentual elevado é vantajoso pois aumenta a faixa dinâmica do sensor, permitindo diferenciar amostras com ampla gama de propriedades dielétricas. Contudo, deslocamentos percentuais muito amplos exigem maior rigor no processo de calibração, uma vez que pequenas imprecisões de medição podem ser amplificadas em termos de erro na estimativa de ϵ [17]. A calibração do sensor octogonal foi representada por um ajuste polinomial de terceira ordem, expresso por $\epsilon(f) = -2,9495f^3 + 27,151f^2 - 86,958f + 96,764$ com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9999$. O valor próximo da unidade confirma que o modelo polinomial representa de forma quase perfeita os dados experimentais, assegurando precisão elevada na estimativa da permissividade. Além disso, o ajuste cúbico confirma que, embora o sensor apresente alta correlação, a relação entre frequência e permissividade não é estritamente linear, mas pode ser modelada de forma robusta sem necessidade de funções de grau mais elevado [18].

Figura 7 – Gráfico da variação da frequência de ressonância do Sensor 3 (Octogonal) em função da permissividade relativa (ϵ_r). Em termos práticos, o sensor octogonal posiciona-se como uma solução intermediária entre os dois extremos: a estabilidade linear do circular e a sensibilidade mais acentuada do quadrado. Sua sensibilidade de aproximadamente 103 MHz/ ϵ e PRFS próximo a 37% demonstram que essa topologia consegue aliar resolução elevada e resposta previsível. A principal consequência desse comportamento é a possibilidade de empregar o octógono em situações onde se busca não apenas detectar pequenas variações de umidade, mas também manter boa previsibilidade de resposta ao longo da faixa de interesse. Embora o desempenho em linearidade ainda seja inferior ao circular, sua capacidade de combinar alta sensibilidade com elevada correlação o torna uma alternativa promissora, principalmente em contextos onde o compromisso entre estabilidade e faixa dinâmica seja desejável.

Comparação de Performance dos Sensores

A análise comparativa entre as três geometrias avaliadas — circular, quadrada e octogonal — evidencia diferenças importantes em termos de linearidade, sensibilidade e faixa dinâmica. O sensor circular apresentou comportamento mais previsível e estável, ainda que com sensibilidade ligeiramente inferior. A frequência de ressonância deslocou-se de 2,76 GHz para 1,76 GHz na faixa $\epsilon = 1$ a 10, resultando em sensibilidade média de 111 MHz/ ϵ e deslocamento percentual máximo (PRFS) de 36,2%. Apesar de o modelo cúbico ter apresentado erros elevados nos pontos iniciais ($\epsilon = 1-2$), a calibração na faixa útil ($\epsilon \geq 3$) reduziu o erro máximo para apenas 1,52%, tornando a resposta altamente confiável para aplicações práticas [19].

Tabela 7 – Comparação dos três sensores em termos de sensibilidade, R^2 e erro máximo. O sensor quadrado, por sua vez, demonstrou a menor previsibilidade entre os três. A variação de frequência entre 2,29 GHz e 1,44 GHz resultou em uma sensibilidade média de 94 MHz/ ϵ e PRFS máximo de 37,2%. O ajuste cúbico obteve correlação quase perfeita ($R^2 = 0,9996$) e erro máximo de 2,92%. No entanto, a presença de maior curvatura na relação frequência-permissividade indica que o quadrado responde de forma mais abrupta a mudanças no MUT, o que eleva sua sensibilidade, mas também torna o modelo mais dependente de calibração precisa. Assim, o sensor quadrado se mostra indicado em cenários que priorizam a resolução, ainda que com menor linearidade.

Tabela 8 – Coeficientes e qualidade do ajuste polinomial para os três

sensores. A geometria octogonal apresentou resultados intermediários, combinando a estabilidade parcial do circular com a sensibilidade ampliada do quadrado. Sua frequência variou de 2,90 GHz para 1,86 GHz, correspondendo a uma sensibilidade média de 116 MHz/ ϵ e PRFS máximo de 36,9%. O modelo polinomial cúbico ajustado atingiu $R^2=0,9999$, com erro máximo de apenas 2,63%. Esses resultados indicam que o sensor octogonal alia elevada correlação experimental com sensibilidade competitiva, mantendo resposta previsível ao longo de toda a faixa estudada [4][12][20]. Em síntese, a geometria circular se destaca pela maior linearidade e menor erro percentual, constituindo-se como a mais estável para aplicações práticas de monitoramento de umidade. A geometria quadrada, embora apresente maior deslocamento percentual e resposta mais sensível, é menos previsível, o que limita seu uso em situações que demandam estabilidade. Já a geometria octogonal surge como alternativa de compromisso, oferecendo alta sensibilidade com correlação quase perfeita, conciliando vantagens das duas geometrias anteriores. Figura 8 – Comparação entre os três sensores (circular, quadrangular e octogonal) – frequência de ressonância em função da permissividade relativa.

Conclusão

4. Conclusão Este trabalho investigou três geometrias baseadas em CRSS/CSRR — circular, quadrada e octogonal — dimensionadas em 50×80 mm e operando na faixa de 2–3 GHz, com leitura em S21. As curvas de calibração foram ajustadas por polinômios de 3ª ordem, resultando em correlações elevadas para as três topologias e deslocamentos monotônicos de frequência em função da permissividade relativa do material sob teste (MUT). Em termos quantitativos, obtiveram-se sensibilidades médias de 111 MHz/ ϵ (circular), 94 MHz/ ϵ (quadrado) e 116 MHz/ ϵ (octogonal), com deslocamentos percentuais máximos (PRFS) de 36,2 %, 37,2 % e 36,9 %, respectivamente. Os erros máximos de predição na faixa calibrada foram 1,52 % (circular, para $\epsilon \geq 3$), 2,92 % (quadrado) e 2,63 % (octogonal), com R^2 de 0,9936; 0,9996; e 0,9999, nessa ordem. Comparativamente, o sensor circular apresentou o melhor compromisso entre linearidade, estabilidade e erro de calibração. Embora sua sensibilidade absoluta seja ligeiramente inferior à do octogonal, o circular forneceu resposta mais previsível e erro máximo mais baixo na faixa operacional de interesse ($\epsilon \geq 3$), o que é decisivo em aplicações de campo, onde a variabilidade do MUT (porosidade, compactação, salinidade e temperatura) tende a degradar modelos muito curvos. Em outras palavras, quando o objetivo principal é detectar, quantificar e acompanhar variações de umidade de forma reprodutível e com baixa necessidade de recalibração, o circular se destaca como a melhor escolha. A geometria octogonal surge como alternativa de compromisso. Ela combina sensibilidade elevada (a maior entre as três) com excelente correlação ($R^2 = 0,9999$) e erro baixo. Em cenários nos quais se deseja maior resolução para pequenas variações de umidade, mas ainda com boa previsibilidade, o octógono é particularmente atrativo. Já o sensor quadrado exibiu PRFS ligeiramente superior e alta sensibilidade, porém com curvatura mais acentuada da calibração, o que o torna mais suscetível a ruído e a desvios quando se extrapola a faixa ou quando as condições ambientais variam. Assim, o quadrado é indicado para aplicações em que se prioriza detecção rápida (por exemplo, limiares “seco/molhado”) em ambientes controlados, reconhecendo que a manutenção da calibração exige maior rigor. Em síntese, considerando linearidade, erro máximo, previsibilidade e viabilidade operacional, o sensor circular é o mais indicado para identificar e quantificar umidade em materiais de construção de forma robusta e repetível.

O octogonal constitui segunda opção quando a aplicação demanda maior resolução com boa estabilidade, e o quadrado atende nichos em que sensibilidade elevada e detecção por limiar são mais valorizadas do que a linearidade global. Esses resultados delineiam um guia de seleção por aplicação, permitindo escolher a topologia conforme o equilíbrio desejado entre sensibilidade e estabilidade de calibração.

Referências

- Referencias [1] J. G. D. Oliveira et al., "CSRR-based microwave sensor for dielectric materials characterization applied to soil water content determination," *Sensors*, vol. 20, no. 1, p. 255, 2020. [2] R. Buragohain, R. Kumar, and A. Singh, "Microwave Resonator Sensors for Moisture Detection in Building Materials," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, pp. 14245–14255, 2021. [3] A. K. Arya, M. V. Kartikeyan, and A. Patnaik, "Defected Ground Structure in the Perspective of Microstrip Antennas Review," *Frequent Int. J. RF Eng. Telecommun.*, vol. 64, pp. 79–84, 2010. [4] R. N. Pereira, "Projeto de sensores DGS para o monitoramento de umidade em materiais de construção civil," *Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Brasil*, 2023. [5] J. K. A. Nogueira et al., "A Compact CSRR-Based Sensor for Characterization of the Complex Permittivity of Dielectric Materials," *Electronics*, vol. 11, p. 1787, 2022. [6] P. Vélez, J. Muñoz-Enano, A. Ebrahimi, C. Herrojo, F. Paredes, and J. Scott, "Single-Frequency Amplitude-Modulation Sensor for Dielectric Characterization of Solids and Microfluidics," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, pp. 12189–12201, 2021. [7] M. A. H. Ansari, A. K. Jha, and M. J. Akhtar, "Design and application of the CSRR-Based planar sensor for noninvasive measurement of complex permittivity," *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, no. 12, pp. 7181–7189, 2015. [8] A. Ebrahimi, W. Withayachumnankul, S. Al-Sarawi, and D. Abbott, "High-sensitivity metamaterial-inspired sensor for microfluidic dielectric characterization," *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, pp. 1345–1351, 2013. [9] Z. Wei, J. Huang, J. Li, G. Xu, Z. Ju, X. Liu, and X. Ni, "A high-sensitivity microfluidic sensor based on a substrate integrated waveguide re-entrant cavity for complex permittivity measurement of liquids," *Sensors*, vol. 18, no. 11, p. 4005, 2018. [10] A. Verma, N. K. Tiwari, and M. J. Akhtar, "Soil moisture detection using CSRR based submersible RF sensor," in *Proc. 3rd Int. Conf. Microwave and Photonics (ICMAP), Dhanbad, India*, 2018, pp. 1–5. [11] T. Chretiennot, D. Dubuc, and K. Grenier, "A microwave and microfluidic planar resonator for efficient and accurate complex permittivity characterization of aqueous solutions," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 61, no. 3, pp. 972–978, 2013. [12] A. Soffiatti, Y. Max, S. G. Silva, and L. M. de Mendonça, "Microwave metamaterial-based sensor for dielectric characterization of liquids," *Sensors*, vol. 18, no. 5, p. 1531, 2018. [13] O. Tereshchenko, F. J. K. Buesink, and F. B. J. Leferink, "An overview of techniques for measuring dielectric properties of materials," in *Proc. IEEE Conf.*, 2011, pp. 1–4. [14] L. Fan et al., "A high-Q active substrate integrated waveguide based sensor for fully characterizing magneto-dielectric (MD) materials," *Sens. Actuators A Phys.*, vol. 301, p. 111778, 2020. [15] P. Vélez, L. Su, K. Grenier, J. Mata-Contreras, D. Dubuc, and F. Martín, "Microwave Microfluidic Sensor Based on a Microstrip Splitter/Combiner Configuration and Split Ring Resonators (SRRs) for Dielectric Characterization of Liquids," *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, pp. 6589–6598, 2017. [16] V. G. Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ," *Soviet Physics Uspekhi*, vol. 10, no. 4, pp. 509–514, 1968. [17] C. Wang et al., "A sensor for characterisation of liquid materials

with high permittivity and high dielectric loss," *Sensors*, vol. 22, no. 5, p. 1764, 2022. [18] J. R. Wang, "The dielectric properties of soil-water mixtures at microwave frequencies," *Radio Science*, vol. 15, no. 5, pp. 977–985, 1980. [19] J. Yeo and J. Lee, "High-sensitivity microwave sensor based on a defected ground structure with interdigital capacitor for permittivity characterization," *Sensors*, vol. 19, p. 498, 2019. [20] J. H. Soutos, S. G. Bungey, M. R. Millard, A. Shaw, and A. Patterson, "Dielectric properties of concrete and their influence on radar testing," *NDT & E Int.*, vol. 34, pp. 419–425, 2001.

Anexos



Equação (1) – Variação da frequência de ressonância do sensor em função da permissividade relativa do material sob teste.



Equação (2) – Definição da sensibilidade do sensor em relação à variação da permissividade.



Equação (3) – Cálculo do parâmetro PRFS (Porcentagem de Deslocamento da Frequência de Ressonância).



Figura 1 – Modelo geométrico do sensor proposto no trabalho.



Equação (4) – Frequência de ressonância.



Equação (5) – Expressão da capacitância equivalente associada à estrutura ressonante.



Figura 2 – Estrutura do Sensor 1 (Circular).



Tabela 1 – Parâmetros extraídos das simulações do Sensor 1 (Circular).



Figura 3 – Estrutura do Sensor 2 (Quadrangular).



Tabela 2 – Parâmetros extraídos das simulações do Sensor 2 (Quadrangular).



Figura 4 – Estrutura do Sensor 3 (Octogonal).



Tabela 3 – Parâmetros extraídos das simulações do Sensor 3 (Octogonal).



Tabela 4 – Relação entre permissividade relativa (ϵ_r) e frequência de ressonância para o Sensor 1 (Circular).



Figura 5 – Gráfico da variação da frequência de ressonância do Sensor 1 (Circular) em função da permissividade relativa (ϵ_r).



Tabela 5 – Relação entre permissividade relativa (ϵ_r) e frequência de ressonância para o Sensor 2 (Quadrangular).



Figura 6 – Gráfico da variação da frequência de ressonância do Sensor 2 (Quadrangular) em função da permissividade relativa (ϵ_r).



Tabela 6 – Relação entre permissividade relativa (ϵ_r) e frequência de ressonância para o Sensor 3 (Octogonal).



Figura 7 – Gráfico da variação da frequência de ressonância do Sensor 3 (Octogonal) em função da permissividade relativa (ϵ_r).



Tabela 7 – Comparação dos três sensores em termos de sensibilidade, R^2 e erro máximo.



Tabela 8 – Coeficientes e qualidade do ajuste polinomial para os três sensores.



Figura 8 – Comparação entre os três sensores (circular, quadrangular e octogonal) – frequência de ressonância em função da permissividade relativa.

CÓDIGO: ET1095

AUTOR: EDILAYNE DA SILVA SANTANA

COAUTOR: FERNANDA QUEIROZ HESPANHOL

COAUTOR: MARIANA RODRIGUES DE ALMEIDA

ORIENTADOR: JAMERSON VIEGAS QUEIROZ

TÍTULO: Tutoria no Projeto Meninas no Espaço: Formação Científica e Liderança Feminina nas Ciências da Terra e Engenharias.

Resumo

Este trabalho apresenta as atividades desenvolvidas durante minha atuação como tutora no projeto "Meninas no Espaço", em parceria com o Programa GLOBE, no período de 2024 a 2025. A iniciativa busca integrar a prática investigativa à sala de aula e incentivar o protagonismo feminino nas ciências exatas e tecnológicas. Como tutora do grupo Águila, voltado ao Protocolo Atmosfera, participei da produção de materiais didáticos (como manuais de meteorologia e portfólios reflexivos), do apoio direto a escolas, da aplicação de oficinas educativas e da tradução de conteúdos do GLOBE/NASA. As ações permitiram o desenvolvimento de uma metodologia ativa, que estimulou a coleta de dados científicos, o pensamento crítico e o interesse das alunas por áreas como meteorologia, oceanografia, satélites, entre outros temas. A experiência contribuiu significativamente para minha formação acadêmica e científica, além de reforçar meu compromisso com a educação climática, a popularização da ciência e a inclusão de meninas nas áreas STEAM.

Palavras-chave: Meteorologia. GLOBE. Educação científica. Meninas. Espaço.

TITLE: Tutoring in the Girls in Space Project: Scientific Training and Female Leadership in Earth Sciences and Engineering

Abstract

This report presents the activities developed during my role as a tutor in the "Girls in Space" project, in partnership with the GLOBE Program, between 2024 and 2025. The initiative aims to integrate investigative practices into classrooms while promoting female leadership in exact and technological sciences. As a tutor in the Águila group, focused on the Atmosphere Protocol, I contributed to the creation of meteorology manuals, educational portfolios,

translation of NASA and GLOBE materials, and support for schools and students. The project fosters hands-on scientific experiences, encouraging the collection of atmospheric data, scientific literacy, and engagement in STEAM fields such as meteorology, oceanography, and remote sensing. This experience significantly enriched my academic and scientific journey while reinforcing my commitment to science communication and the empowerment of girls in science.

Keywords: Meteorology. GLOBE. Scientific education. Girls. Space.

Introdução

O projeto Meninas no Espaço é uma iniciativa educacional voltada à promoção da equidade de gênero nas áreas científicas e tecnológicas, por meio da integração entre educação ambiental, ciência cidadã e protagonismo estudantil. A proposta busca aproximar meninas do Ensino Fundamental II e Médio das áreas STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática), com foco na prática investigativa, no uso de tecnologias espaciais e no monitoramento ambiental.

O projeto teve início em 2014, em Natal (RN), com o objetivo de investigar os fatores que influenciam a baixa presença de meninas em cursos de Engenharia e Ciências Exatas. Desde então, consolidou-se como uma ação estratégica, reunindo instituições como a Agência Espacial Brasileira (AEB), a SEEC/RN, a UFRN e o CNPq. Em parceria com o Programa GLOBE (iniciativa internacional criada pela NASA, NOAA e NSF) o projeto ampliou sua atuação, conectando escolas públicas brasileiras a uma rede global de educação científica.

Entre 2022 e 2025, o projeto passou por fases de expansão. Em 2022, atendeu 75 meninas em 20 escolas; em 2023, alcançou 100 meninas em 34 escolas; e, em 2025, atingiu sua maior edição, com 150 meninas participantes em três estados brasileiros. A proposta articula oficinas, coletas de dados ambientais, produção de portfólios científicos e acompanhamento tutorial, promovendo o desenvolvimento de competências acadêmicas, digitais e socioemocionais entre as participantes.

Minha atuação no projeto iniciou-se em 2024, como tutora do grupo Águila, voltado ao Protocolo Atmosfera do Programa GLOBE. Desde então, participei da formação das alunas, da elaboração e aplicação de materiais didáticos, da tradução e adaptação de conteúdos da

NASA junto ao GLOBE, e do apoio direto às escolas na execução das atividades científicas. A proposta metodológica adotada permitiu o desenvolvimento de ações interdisciplinares e contextualizadas, despertando o interesse das alunas por áreas como meteorologia, oceanografia, sensoriamento remoto e o uso de satélites na investigação ambiental.

A integração entre ciência, educação e igualdade de gênero, promovida pelo projeto, está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU. Este relatório apresenta as atividades realizadas ao longo da minha participação, descrevendo os métodos utilizados, os resultados alcançados e as contribuições da experiência para a formação científica e social das estudantes envolvidas.

Metodologia

observação sistemática dos sistemas ambientais (atmosfera, hidrosfera, pedosfera, biosfera e sistema terrestre como um todo).

Minha formação começou com o curso oficial do GLOBE, com foco no Protocolo Atmosfera, e deu base para a criação de um portfólio reflexivo com dez atividades investigativas de cada esfera, traduzidas e adaptadas para alunas do Ensino Fundamental II e Médio.

Produzi dois manuais didáticos de meteorologia: um para o Ensino Fundamental, com conceitos básicos de tempo e clima, e outro para o Ensino Médio, com aprofundamento em fenômenos atmosféricos, instrumentos meteorológicos e eventos extremos.

Também contribuí com a tradução e adaptação de conteúdos da NASA e do GLOBE, ampliando o acervo em português e facilitando a implementação da metodologia pelas escolas.

Ofereci suporte direto às professoras e estudantes, presencial e virtualmente, orientando na coleta de dados atmosféricos, organização de portfólios e uso da plataforma GLOBE. Participei dos workshops de abertura e encerramento do projeto, colaborando na definição dos temas de pesquisa, acompanhamento das equipes escolares e socialização dos resultados.

Em 2025, continuo como tutora, agora apoiando a professora Daniele Medeiros em aulas sobre o Protocolo Atmosfera, com foco em novas traduções, planejamento e atividades práticas de observação e registro.

A metodologia baseia-se em práticas colaborativas e de ciência cidadã, com linguagem acessível, uso de instrumentos simples e valorização das realidades locais, tornando a experiência significativa e engajadora.

Resultados e Discussões

A tutoria no Meninas no Espaço resultou em impactos expressivos na formação das alunas e na minha própria trajetória.

Um dos principais produtos foram os dois manuais didáticos de meteorologia, com linguagem clara, recursos visuais e atividades práticas. Esses materiais serão utilizados em diversas escolas e já demonstram grande potencial pedagógico.

O portfólio reflexivo, com atividades dos cinco protocolos do GLOBE, serviu como guia prático para professores e estudantes, incentivando a aplicação de projetos científicos adaptados à realidade local.

A tradução de conteúdos do GLOBE e da NASA ampliou o acesso ao conhecimento, permitindo que escolas com pouca infraestrutura participassem das atividades com autonomia.

Durante a execução do projeto, o suporte direto às alunas e escolas gerou vínculos

significativos. A tutoria permitiu construir confiança, despertar o interesse das estudantes pela ciência e desmistificar o fazer científico.

Nos workshops de abertura e encerramento, atuei monitorando os grupos escolares, orientando a definição de temas de pesquisa e acompanhando a apresentação dos resultados. As dinâmicas aplicadas nesses eventos promoveram interação entre as participantes, incentivando o compartilhamento de descobertas e fortalecendo a autoestima das meninas em relação ao conhecimento produzido.

Outro momento marcante foi a participação no segundo workshop do projeto, que incluiu uma visita técnica ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), ambos localizados no Rio Grande do Norte. Essa vivência possibilitou que alunas, tutoras e professoras conhecessem de perto as estruturas e tecnologias utilizadas na pesquisa espacial brasileira, além de interagir com profissionais da área. A visita foi fundamental para ampliar o horizonte das estudantes quanto às possibilidades de atuação no campo científico e tecnológico, fortalecendo o sentimento de pertencimento das meninas em espaços tradicionalmente ocupados por homens.

As oficinas e aulas proporcionadas trataram de temas inovadores como satélites, oceanografia, sensoriamento remoto e lixo espacial, temas pouco presentes no cotidiano escolar e essenciais para despertar vocações.

O projeto também promoveu redes colaborativas entre universidade e escola, aproximando os saberes acadêmicos da realidade educacional e contribuindo para práticas mais democráticas e inclusivas.

Apesar dos desafios de conciliar graduação, estágio e projeto, mantive o comprometimento com todas as entregas e prazos, desenvolvendo habilidades de gestão de tempo, empatia e adaptação.

Em 2025, o apoio à professora Daniele Medeiros reforça a continuidade da atuação e o aprimoramento das atividades com foco no Protocolo Nuvens.

Tais experiências reafirmam que o Meninas no Espaço cumpre um papel fundamental na formação de estudantes críticas, criativas e conscientes das questões climáticas e sociais.

Conclusão

A participação como tutora no projeto Meninas no Espaço foi uma experiência transformadora, que ampliou minha formação científica, pedagógica e pessoal. Atuei na produção de materiais didáticos, aplicação de atividades investigativas e no apoio direto a escolas, contribuindo para o fortalecimento do protagonismo feminino nas ciências.

A vivência demonstrou o potencial da ciência cidadã como ferramenta de inclusão e transformação, aproximando as estudantes da prática científica e de temas relevantes para o século XXI.

Recomendo que o projeto seja ampliado, com incentivo à produção de materiais adaptados, oficinas práticas e estudos sobre os impactos de longo prazo na vida acadêmica das alunas.

Concluo que o Meninas no Espaço representa um modelo de educação comprometido

com a equidade de gênero, a inclusão social e o enfrentamento das mudanças climáticas, contribuindo para a formação de uma nova geração de mulheres cientistas e líderes.

Referências

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). Programa AEB Escola. Disponível em: <https://www.aeb.gov.br/programas/aeb-escola/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

GLOBE PROGRAM. The GLOBE Program: Atmosphere Protocols. NASA, 2024. Disponível em: <https://www.globe.gov/web/atmosphere-protocols>. Acesso em: 25 jul. 2025.

CÓDIGO: ET1099

AUTOR: ADRIELY EMILLY SILVA DE LIMA

ORIENTADOR: FERNANDA CRISTINA BARBOSA PEREIRA QUEIROZ

TÍTULO: Educação aberta e MOOCs

Resumo

A educação aberta constitui-se como um movimento social e político orientado para a democratização do conhecimento, fundamentada em valores de liberdade, cidadania e progresso coletivo. Nesse cenário, os Massive Open Online Courses (MOOCs) surgem como alternativa pedagógica capaz de ampliar o acesso à educação superior pública, tornando-a mais inclusiva, equitativa e flexível. Este trabalho tem como objetivo analisar experiências, desafios e tendências dos MOOCs no Brasil, com ênfase em iniciativas desenvolvidas em universidades públicas. A pesquisa, de caráter qualitativo e exploratório, baseia-se na análise de documentos institucionais, literatura especializada e relatórios da UNESCO, além de integrar a discussão com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, em especial o ODS 4 (Educação de Qualidade) e o ODS 10 (Redução das Desigualdades). Os resultados apontam que os MOOCs contribuem significativamente para a democratização do ensino superior, possibilitando maior alcance institucional e inclusão de públicos diversos. Contudo, permanecem desafios relacionados à evasão, ao engajamento dos estudantes e às desigualdades digitais, exigindo estratégias inovadoras como metodologias ativas e tecnologias avançadas.

Palavras-chave: MOOCs; Educação aberta; Educação superior pública; ODS 4; ODS 10;

TITLE: Open Education and MOOCs

Abstract

Open education is a social and political movement oriented towards the democratization of knowledge, grounded in values of freedom, citizenship, and collective progress. Within this framework, Massive Open Online Courses (MOOCs) emerge as a pedagogical alternative capable of expanding access to public higher education, making it more inclusive, equitable, and flexible. This study aims to analyze the experiences, challenges, and trends of MOOCs in Brazil, with an emphasis on initiatives developed by public universities. The research, qualitative and exploratory in nature, is based on the analysis of institutional documents, specialized literature, and UNESCO reports, in addition to integrating the discussion with the United Nations Sustainable Development

Goals (SDGs), especially SDG 4 (Quality Education) and SDG 10 (Reduced Inequalities). The results indicate that MOOCs significantly contribute to the democratization of higher education, enabling broader institutional outreach and the inclusion of diverse audiences. However, challenges remain regarding dropout rates, student engagement, and digital inequalities, which require innovative strategies such as active methodologies and advanced technologies.

Keywords: MOOCs; Open education; Public higher education; SDG 4; SDG 10;

Introdução

A educação aberta, fundamentada em ideais iluministas de liberdade, cidadania e progresso social, busca democratizar o acesso ao conhecimento e promover transformação individual e coletiva (PETERS; BRITZ, 2008). Dentro desse movimento, os Massive Open Online Courses (MOOCs) destacam-se por sua capacidade de oferecer ensino em larga escala, aberto e flexível, rompendo barreiras de acesso e contribuindo para a inclusão educacional.

No Brasil, a incorporação de MOOCs pelas universidades públicas reflete a busca por inovação pedagógica e ampliação do alcance institucional. Além disso, a relação direta desses cursos com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 4 (Educação de Qualidade) e o ODS 10 (Redução das Desigualdades), evidencia seu papel estratégico na construção de uma educação inclusiva, equitativa e de qualidade.

Metodologia

Este artigo foi elaborado a partir da análise de conteúdos extraídos de material de apresentação sobre Educação Aberta e MOOCs, complementados por referências bibliográficas e documentos internacionais, como relatórios da UNESCO, além da integração com os princípios dos ODS 4 e 10. A abordagem é de caráter qualitativo e exploratório, buscando identificar experiências, desafios e tendências relacionadas aos MOOCs na educação superior pública.

Resultados e Discussões

A educação aberta envolve práticas colaborativas e participativas, que redefinem o conceito de autoria e promovem o protagonismo de professores e estudantes (FURTADO; AMIEL, 2019). Os Recursos Educacionais Abertos (REA), embora frequentemente confundidos com educação aberta, constituem apenas uma de suas estratégias. Eles incluem materiais de ensino, aprendizagem e pesquisa em domínio

público ou sob licenças abertas, que permitem uso, adaptação e redistribuição sem custos (UNESCO, 2022).

Os MOOCs foram oficialmente introduzidos em 2008 por George Siemens e Stephen Downes, da University of Manitoba, no Canadá. Suas principais características incluem a inscrição aberta e gratuita, a ausência de limite de participantes, acesso universal aos materiais digitais, certificação opcional, em geral mediante pagamento (FORNARI et al., 2024). Esses cursos se consolidaram como alternativas viáveis para ampliar o acesso ao ensino superior, favorecendo a aprendizagem ao longo da vida.

Universidades públicas brasileiras como a UFPR, UFRGS, UFES, UFSCar e UFMA já implementaram MOOCs em suas plataformas. Tais iniciativas ampliam a visibilidade das instituições, democratizam o acesso ao conhecimento e reafirmam o papel social da universidade pública. No entanto, apesar de seu potencial, os MOOCs enfrentam entraves como altas taxas de evasão, dificuldades de engajamento, desigualdades no acesso às tecnologias digitais. Para superar esses desafios, têm-se adotado metodologias ativas, gamificação e recursos tecnológicos inovadores, buscando tornar os cursos mais atrativos e eficazes.

Os MOOCs têm se mostrado ferramentas relevantes para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Em relação ao ODS 4 – Educação de Qualidade, esses cursos possibilitam o acesso inclusivo e equitativo à educação superior, fortalecendo o aprendizado contínuo e a formação ao longo da vida, independentemente da localização geográfica ou da condição socioeconômica dos estudantes. Já no que se refere ao ODS 10 – Redução das Desigualdades, os MOOCs contribuem para a promoção da equidade educacional ao eliminar barreiras financeiras, acadêmicas e territoriais, favorecendo a inclusão de grupos historicamente marginalizados e reduzindo desigualdades sociais e digitais.

Conclusão

Os MOOCs consolidam-se como instrumentos estratégicos para a educação superior pública, ao combinar inovação pedagógica, democratização do conhecimento e inclusão social. Sua contribuição direta para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 4 e 10 reforça seu papel na promoção de uma educação de qualidade e na redução das desigualdades. Entretanto, para que seu potencial seja plenamente realizado, é necessário enfrentar os desafios relacionados ao engajamento discente e à exclusão digital. Assim, os MOOCs representam não apenas uma tendência tecnológica, mas um componente essencial para a construção de uma educação superior pública mais aberta, inclusiva e sustentável.

Referências

ARENAS, Marcela Ramirez; CAMARGOS, Valéria de Oliveira; ROCHA, Cristina Alves Menezes; TOTARO, João Henrique Rettore. MOOC (Curso Massivo Aberto Online): alternativa pedagógica na Era Digital. Caderno de Educação, v. 20, n. 49, p. 199-211, 2017/2018.

FORNARI, Aline; CARVALHO, Patricia Bellotti; FREITAS, Maria do Carmo Duarte; ADRIÃO, Milton. Autoavaliação em MOOC sobre Gestão Lean na Construção Civil. EAD em Foco, v. 14, n. 1, e2148, mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.18264/eadf.v14i1.2148>.

FURTADO, Débora; AMIEL, Tel. Guia de bolso da educação aberta. Brasília, DF: Iniciativa Educação Aberta, 2019.

PATRU, Mariana; BALAJI, Venkataraman. Making sense of MOOCs: A guide for policy-makers in developing countries. Paris: UNESCO; Burnaby: Commonwealth of Learning, 2016.

PETERS, BRITEZ. Open Education and Education for Openness. Rotterdam: Sense Publishers, 2008.

UNESCO. Relatório anual da UNESCO no Brasil, 2022. Brasília: UNESCO Office in Brasília.

CÓDIGO: ET1102

AUTOR: PAULO GABRIEL MOREIRA SOARES

ORIENTADOR: HÉRIKA CAVALCANTE DANTAS DA SILVA

TÍTULO: Iniciação Científica na construção e monitoramento de tecnologias sociais de saneamento bioenergético: plano 1, ano3.

Resumo

Em regiões semiáridas existe a necessidade de alternativas para convivência com a escassez de recursos hídricos, para tanto, os efluentes domésticos tratados apresentam grande potencial de reaproveitamento para a agricultura familiar. Para regiões com baixas capacidades de investimento, sistemas simplificados descentralizados têm sido difundidos como possibilidade para este fim. O presente estudo analisou a qualidade dos efluentes tratados por sistemas simplificados em Lajes Pintadas/RN, especificamente o sistema Bioágua Familiar e a Fossa Séptica Biodigestora, visando reuso na agricultura. Esses sistemas vêm sendo difundidos e obtendo bons resultados agrícolas junto a pequenos agricultores, tornando-se uma estratégia eficiente de mitigação de secas prolongadas características da região semiárida. Foram realizadas, em outubro de 2024, quatro coletas de amostras e análises laboratoriais para aferir a qualidade do efluente e seu atendimento a padrões já estabelecidos. Os sistemas de tratamento em pequena escala podem propiciar inúmeros benefícios aos pequenos agricultores. Entretanto, os resultados apresentados neste trabalho demonstram valores acima de alguns padrões estabelecidos, por isso para maior sustentabilidade, torna-se necessário o monitoramento frequente do efluente final, a instrução adequada de manejo e aplicação, bem como recomendações sobre a proteção do solo e das culturas agrícolas.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Tecnologia Social. Semiárido.

TITLE: Scientific initiation in the construction and monitoring of bioenergy sanitation social technologies: plan 1, year 3.

Abstract

In semiarid regions, there is a pressing need for alternatives to cope with water scarcity. In this context, treated domestic wastewater presents significant potential for reuse in family farming. For areas with limited investment capacity, simplified decentralized

systems have been promoted as viable options for this purpose. This study analyzed the quality of effluents treated by simplified systems in Lajes Pintadas, RN, specifically the Bioágua Familiar system and the Biodigester Septic Tank, with a focus on agricultural reuse. These systems have been disseminated and have shown positive agricultural outcomes among smallholder farmers, becoming an effective strategy for mitigating the impacts of prolonged droughts typical of semiarid regions. In October 2024, four sampling campaigns and laboratory analyses were conducted to assess effluent quality and its compliance with established standards. Small-scale treatment systems can provide numerous benefits to family farmers. However, the results of this study indicate values exceeding some of the established thresholds. Therefore, to ensure greater sustainability, frequent monitoring of the final effluent, proper management and application guidelines, as well as recommendations on soil and crop protection, are required.

Keywords: Family farming. Social technology. Semi-arid.

Introdução

A gestão dos recursos hídricos e o atendimento aos múltiplos usos da água têm gerado debates sobre alternativas que assegurem fornecimento em quantidade e qualidade adequadas. Nesse contexto, o reúso de efluentes tratados surge como solução promissora, sobretudo em regiões com escassez hídrica e irregularidade pluviométrica (SOARES, 2023). O reúso na agricultura pode trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais. No semiárido brasileiro, a prática tem crescido com sistemas descentralizados em áreas rurais, promovendo gestão eficiente dos recursos, prevenindo impactos ambientais e gerando ganhos socioeconômicos para agricultores (BERNARDINO, 2022).

Essa tendência se intensifica diante das mudanças climáticas e eventos extremos, como secas e chuvas intensas. Em 2021, 22 países reportaram perdas de 19,3 bilhões de dólares devido a desastres naturais (FAO, 2023). O reúso mostra-se, assim, estratégia eficaz para mitigação desses impactos. Na agricultura, pode transformar cadeias produtivas ao garantir fonte contínua de irrigação, especialmente para pequenos produtores. Estudos apontam aumento de renda com acesso a sistemas de reúso (KHAN et al., 2021). Além disso, águas residuárias oferecem vantagens agronômicas e ambientais, fornecendo nutrientes e elevando rendimentos, sobretudo em regiões de escassez ou distribuição irregular de chuvas (PEDRERO et al., 2012; SANTOS et al., 2012; CASTRO et al., 2016).

Diversos estados brasileiros como Ceará, Minas Gerais, Bahia, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, já regulamentaram o reúso. Já o estado do Rio Grande do Norte (RN), possui uma política de reúso de água não potável, criada pela Lei nº 11.332 de 2022 e atualmente está em fase de aprovação de um programa de reúso, que define os padrões de qualidade a serem implementados no estado. A regulamentação é crucial para incentivar a prática, dar segurança jurídica e proteger saúde pública e ecossistemas. Contudo, definir padrões adequados é desafiador diante das disparidades socioeconômicas e da infraestrutura limitada, o que gera debate sobre a viabilidade de regras muito rígidas (SANTOS et al., 2023; VIANA et al., 2020).

Entre as tecnologias de reúso, destacam-se sistemas simplificados, de baixo custo e manutenção, adaptados à realidade local. O Bioágua Familiar é um exemplo do tipo, uma vez que utiliza filtros de com materiais de simples acesso como: brita, areia e húmus com minhocas californianas; resultando em água rica em nutrientes e húmus como subproduto (SANTIAGO et al., 2015; EMBRAPA, 2021). Outro exemplo bastante implementado no Brasil é a Fossa Séptica Biodigestora, formada por três tanques interligados, possibilitando a degradação de dejetos orgânicos por digestão anaeróbia, gerando um efluente ainda rico em nutrientes, porém sem odores e com baixa manutenção (SILVA et al., 2021; EMBRAPA, 2020).

Os sistemas simplificados citados se enquadram no conceito de Tecnologia Social (TS), entendidas como metodologias acessíveis, aplicáveis e desenvolvidas em interação comunitária, respondendo a demandas locais de forma participativa e sustentável (DAGNINO, 2014). No semiárido, o Bioágua Familiar e a Fossa Séptica Biodigestora consolidam-se como alternativas de saneamento e produção agrícola resiliente, contribuindo para melhor gestão hídrica e qualidade de vida de agricultores familiares (FBB, 2022).

Sistemas unifamiliares constituídos por bioágua e fossa biodigestoras foram instalados na zona rural do município de Lajes Pintadas - RN em meados de 2021, pelas ONGs SEAPAC (Serviço de Apoio aos Projetos Alternativos Comunitários) ESF Natal (Engenheiros Sem Fronteiras, núcleo Natal), encontrando-se em funcionamento até os dias atuais, realizando o aproveitamento de águas residuais como alternativa essencial para convivência com os períodos de estiagem da região. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade do efluente produzido por 4 desses sistemas instalados em Lajes Pintadas, frente a padrões já estabe

Metodologia

ÁREA DE ESTUDO E DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS

O ESF - Natal, através do projeto Saneamento Fértil, em parceria com o SEAPAC, auxiliaram na construção de sistemas de tratamento, seguindo princípios da Tecnologia Social (REF), para reaproveitamento de esgoto doméstico e nutrientes, como solução para questões de saneamento ambiental de comunidades rurais de Lajes Pintadas-RN, município que se situa na microrregião da Borborema Potiguar e na mesorregião Agreste Potiguar, com clima semiárido.

Na zona rural do município 70 famílias foram contempladas, no ano de 2021, com os sistemas de tratamento e reúso dos efluentes domésticos voltado à produção agrícola. Com o acompanhamento realizado ao longo dos anos pelas ONGs ESF - Natal e SEAPAC, observa-se que os números de sistemas em funcionamento estão diminuindo, seja por problemas nos equipamentos ou por opção do usuário. No ano de 2024, foi levantado que estariam em funcionamento cerca de 50 sistemas.

Os sistemas instalados possuem a seguinte configuração: filtro conhecido como Bioágua familiar e fossas sépticas biodigestoras (Figura 1). O Bioágua Familiar possui como objetivo o tratamento de águas cinzas visando o reaproveitamento na produção agrícola. A principal etapa do tratamento consiste em um filtro biológico descendente preenchido com camadas orgânicas e inorgânicas, sendo essas: (1) húmus de minhoca; (2) pó de madeira; (3) areia lavada; (4) brita e (5) seixo, onde o tratamento ocorre por impedimento físico e biológico, principalmente pelo biofilme aderido às camadas filtrantes e minhocas californianas (Santiago et al, 2015). Já as fossas sépticas biodigestoras, que trata exclusivamente os efluentes da bacia sanitária, desenvolvidas pela Embrapa, realizam o tratamento por digestão anaeróbia, gerando um efluente rico em nutrientes (Silva et al, 2021). Com o objetivo de fertirrigação, os efluentes tratados são direcionados para um único reservatório, onde seguem para aplicação em culturas forrageiras e frutíferas. O sistema de irrigação empregado é do tipo localizado, evitando o contato do efluente com a parte aérea da planta e frutos.

COLETA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Em outubro de 2024 foram realizadas coletas do esgoto tratado em quatro dos sistemas instalados, selecionados de forma aleatória. Foram realizadas análises físico-químicas e coliformes termotolerantes, seguindo os procedimentos da APHA et al. (2017). Os parâmetros avaliados foram: nitrogênio orgânico, potássio, fósforo total, cálcio, magnésio, sódio, cloreto, bicarbonato e coliformes termotolerantes. Além disso foi realizado o cálculo da RAS (razão de adsorção de sódio), seguindo a equação: $RAS = \frac{Na}{Ca + Mg}$, onde Na é o valor de sódio, Ca o de cálcio e Mg o de magnésio. Para interpretação dos resultados, utilizaram-se as diretrizes de Ayers e Westcot (1985) para irrigação e da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2006) para o controle microbiológico.

Resultados e Discussões

A análise dos macronutrientes (tabela 1) nitrogênio orgânico, potássio e fósforo revelou que apenas o nitrogênio, essencial para a formação de proteínas vegetais (Gomes, 2017), apresentou valor médio dentro dos limites recomendados para irrigação. No entanto, o elevado desvio padrão indica que algumas amostras podem ter ultrapassado esse limite, o que representa risco de acúmulo no solo e possíveis desequilíbrios nutricionais. Isso pode ocorrer devido aos hábitos dos usuários do sistema variarem de acordo com a residência, seja de utilização de produtos de limpeza ou ainda de hábitos alimentares diferentes.

Já os teores de potássio e fósforo excederam significativamente os valores recomendados por Ayers e Westcot (1985), indicando forte restrição ao uso do efluente na irrigação. O excesso de potássio pode causar desequilíbrio na absorção de outros nutrientes e aumentar a salinização do solo (Rietra et al., 2017), enquanto o fósforo em excesso representa risco à microbiota do solo e pode favorecer a eutrofização de corpos hídricos (Li et al., 2017).

Em relação aos sais dissolvidos, os teores de cálcio, magnésio, sódio e cloreto permaneceram dentro dos padrões ideais para reúso agrícola. Entretanto, o bicarbonato ultrapassou o limite estabelecido, podendo precipitar cálcio e magnésio no solo, favorecendo a solidificação e reduzindo a eficiência da irrigação (Almeida, 2010). De acordo com Maia et al (2012) os íons carbonatos e bicarbonatos podem ter efeito tóxico para o crescimento das plantas. Esse efeito tóxico ocorre devido à interferência na absorção das raízes de elementos essenciais e associado ao aumento no pH na solução do solo, do que a absorção direta dos íons carbonatos e bicarbonatos pelas plantas (Maia et al, 2012 apud Maia, 1996).

A Razão de Adsorção de Sódio (RAS) também apresentou valores elevados, superando o limite de 15, o que representa risco de dispersão de partículas do solo e perda de sua estrutura física (Braga e Pacheco, 2014). A proporção de sódio considerada prejudicial na irrigação é estabelecida em função dos teores conjuntos de cálcio e magnésio, pois estes elementos agem no sentido de deslocar o sódio contido no solo (troca catiônica), ou seja, águas com teor de sódio elevado ou com teor reduzido dos elementos cálcio e magnésio podem influenciar a redução da permeabilidade do solo, favorecendo o encharcamento das raízes e dificultando o desenvolvimento das plantas (Silva, 2020 apud Lima, 2009).

Por fim, a presença de coliformes termotolerantes no efluente ficou muito elevada, em relação ao padrão da OMS, o que compromete a segurança sanitária da água de irrigação, especialmente para culturas consumidas cruas (Santos, 2020). De acordo com Lima et al (2014) esse alto índice de coliformes está associado à doenças como hepatite, cólera e diarreia. A ingestão de água e alimentos contaminados transmite ao homem grande número de patógenos acarretando, em países em desenvolvimento, cerca de 80% das doenças (Lima et al, 2014). Para tanto, Marourelli et al (2014) destacam que para tentar diminuir os problemas com coliformes ainda é necessário o maior investimento em pesquisa para alternativas viáveis (baixo custo) para os agricultores tratarem seus esgotos, mas os autores dão um destaque para o uso de cloro (Marourelli, 2014), no entanto, para realidade estudada não seria uma alternativa viável, devido ao uso de bactérias aeróbicas nos processos de tratamento do esgoto bruto nas fossas biodigestoras.

Por outro lado, o valor indicado pela OMS para coliformes não leva em consideração alguns parâmetros importantes, como: elevadas temperaturas da região semiárida que pode aumentar o decaimento bacteriano ao longo do tempo, o que pode trazer proteção sanitária caso a irrigação seja suspensa 3 dias antes da colheita (Li e Wen, 2016); a restrição de culturas irrigadas, evitando o reúso em irrigação de vegetais consumidos crus (Lima et al, 2021); a irrigação pontual (gotejamento), adotada pela população local, que evita contato direto com a parte aérea da planta e portanto traz mais proteção sanitária ao usuário (Ait-Mouheb et al, 2022). Além disso, para sistemas simplificados, 1.000 NMP/100 mL pode ser considerado um padrão demasiadamente restritivo, considerando que este é o padrão para balneabilidade estabelecido pela resolução brasileira CONAMA 274/2000. Por isso, é necessário estabelecer padrões mais adequados à realidade local, considerando que o da OMS é mundial e, portanto, generalista.

Conclusão

Os sistemas de tratamento em pequena escala podem propiciar inúmeros benefícios aos pequenos agricultores. Entretanto, os resultados apresentados neste trabalho demonstram valores acima de alguns padrões estabelecidos, por isso para maior sustentabilidade, torna-se necessário o monitoramento frequente do efluente final, a instrução adequada de manejo e aplicação, bem como recomendações sobre a proteção do solo e das culturas agrícolas.

Referências

AIT-MOUHEB, N.; MANGE, A.; FROMENT, G.; LEQUETTE, K.; BRU-ADAN, V.; MAIHOL, J.; MOLLE, B.; WÉRY, N. Effect of untreated or reclaimed wastewater drip-irrigation for lettuces and leeks on yield, soil and fecal indicators. *Resources, Environment and Sustainability*, v. 8, 2022.

BERNARDINO, Libiane Marinho. Potencial de reúso de efluentes tratados para irrigação na agricultura periurbana no Semiárido Paraibano. 2022. 94 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Sumé, PB, 2022.

DAGNINO, Renato. Tecnologias sociais: contribuições conceituais e metodológicas. Campinas: Autores Associados, 2014.

EMBRAPA. Bioágua Familiar: reúso de águas cinzas para produção de alimentos. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

EMBRAPA. Fossa séptica biodigestora: tecnologia social para saneamento rural. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. Tracking progress on food and agriculture-related SDG indicators 2023. Rome, 2023.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL – FBB. Tecnologias sociais no semiárido: soluções para convivência com a seca. Brasília, DF: Fundação Banco do Brasil, 2022.

GOMES, Auriane Risia Marques Garcia. Nutrientes Essenciais para as Plantas: Estudo Sobre O Solo, Seus Nutrientes E As Consequências Do Déficit De Alguns Deles. *Jornada Acadêmica da UEG campus Santa Helena de Goiás*, v. 11, 2017.

KHAN, A. S.; SILVA, M. J. N.; SOUSA, E. P.; LIMA, P. V. P. S. TECNOLOGIAS DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA: Impactos na Renda e na Sustentabilidade

Agrícolas de Agricultores Familiares no Município de Iguatu, Ceará, Brasil. REVISTA DE LA RED IBEROAMERICANA DE ECONOMÍA ECOLÓGICA, v. 34, p. 25, 2021.

LI, C.; CHEN, Q.; ZHANG, X.; SNYDER, S. A.; GONG, Z.; LAM, S. H. An integrated approach with the zebrafish model for biomonitoring of municipal wastewater effluent and receiving waters. Water Research, v. 131, p. 33–44, 2017. Disponível em: <https://zfin.org/ZDB-PUB-171220-7>. Acesso em: 28 ago. 2025. zfin.org

LI, J.; WEN, J. Effects of water managements on transport of E. coli in soil-plant system for drip irrigation applying secondary sewage effluent. Agricultural Water Management. v. 178, p. 12–20, 2016.

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; BRAGA, M. B. Reúso de água residuária na Olericultura: necessidade, limitações e impactos sobre a qualidade de hortaliças e dos solos. In: BRAGA, M. B., LIMA, C. E. P. (org). Reúso de água na agricultura. Brasília: EMBRAPA, 2014. p. 27-57.

LIMA, M. A. DE M.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. IRRIGAÇÃO COM ÁGUA DE REÚSO NO BRASIL: APLICAÇÃO DO MODELO SEMIQUANTITATIVO DE AVALIAÇÃO DE RISCO MICROBIOLÓGICO PARA SAÚDE HUMANA. REVISTA ELETRÔNICA DE GESTÃO E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, v. 9, p. 71-86, 2021.

LIMA, Sara Raquel Laurentino Barbosa de et al. Anais I CONIMAS e III CONIDIS: Implementação de um projeto integrado para coleta, tratamento e reúso de esgoto doméstico em propriedade rural do semiárido potiguar. Campina Grande, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63597>. Acesso em: 31 jul. 2024.

MAIA, C. E.; RODRIGUES, K. K. P. R.; LACERDA, V. da S. Relação entre bicarbonato e cloreto em águas para fins de irrigação. Irriga, Botucatu, edição especial, n. 1, p. 206–219, 2012. DOI: 10.15809/irriga.2012v1n01p206. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/448/245>. Acesso em: 28 ago. 2025.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; BRAGA, M. B. Segurança Sanitária da água para irrigação. In: BRAGA, M. B., LIMA, C. E. P. (org). Reúso de água na agricultura. Brasília: EMBRAPA, 2014. p. 179-200.

PEDRERO, F.; ALLENDE, A.; GIL, M. I.; ALARCÓN, J. J. Soil Chemical properties, leaf mineral status and crop production in a lemon tree orchard irrigated with two types of wastewater. Agricultural Water Management, v. 109, p. 54–60, 2012.

RIETRA, R. P. J. J. et al. Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 48, n. 16, p. 1895–1920, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>.

SANTIAGO, F.; JALFIM, F.; BLACKBURN, R.; DOMBROSKI, S.; MONTEIRO, L.; NANES, M.; DIAS, I.; GURGEL, R.; OLIVEIRA, B.; OLIVEIRA, G.; SANTOS, W.; PINHEIRO, M. R.; SALES, F.; SILVA, J. Manual de implantação e manejo do sistema bioágua familiar: reúso de água cinza doméstica para a produção de alimentos na agricultura familiar do semiárido brasileiro. Caraúbas: ATOS, 2015.

SANTOS, O. S. N.; PAZ, V. da S.; GLOAGUEN, T. V.; TEIXEIRA, M. B.; FADIGAS, F. S.; COSTA, J.A. Crescimento e estado nutricional de helicônia irrigada com água residuária tratada em casa de vegetação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online), v. 16, p. 820-827, 2012.

SILVA, R. F. S. Classificação de águas de poços para uso em irrigação de acordo com a razão de adsorção de sódio (RAS). 2020. Monografia (Graduação em Química – Bacharelado em Química Industrial) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/55551/3/2020_tcc_rfssilva.pdf. Acesso em: 28 ago. 2025.

SisBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SOARES, Anna Elis Paz. Potencial de reúso de efluentes sanitários e sua interface com a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca – Pernambuco. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

Anexos



Figura 1 - a) fossas sépticas biodigestoras e b) bioágua familiar. Fonte: Lima, et al, (2019).



Tabela 1 – Valores médios e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos e coliformes do efluente tratado e os limites recomendados para uso na irrigação.

CÓDIGO: ET1125

AUTOR: MARIA CLARA DE ABREU DANTAS

COAUTOR: ROSEANE SOLON MEDEIROS

COAUTOR: JULIANA DELGADO TINOCO

COAUTOR: KESIA KARINA DE OLIVEIRA SOUTO SILVA

COAUTOR: JEAN LEITE TAVARES

COAUTOR: DANNYLO WANNE SOUZA DA ROCHA

ORIENTADOR: SILVÂNIA LUCAS DOS SANTOS

TÍTULO: Potencial de Remoção do Ibuprofeno em Soluções Aquosas por Adsorção em Carvão Ativado de Pinus sp. e Carvão de Licania rigida

Resumo

A presença de fármacos como o ibuprofeno em corpos hídricos representa um desafio crescente para o saneamento ambiental, devido à sua baixa biodegradabilidade e remoção ineficiente em estações convencionais de tratamento. Este trabalho investigou o potencial adsorptivo de dois carvões: o comercial de Pinus sp. (ativado) e o obtido da casca da oiticica (Licania rigida), avaliados na remoção de ibuprofeno em solução aquosa (5 mg L⁻¹) por ensaios em batelada conduzidos em pH 5,5, com concentração de adsorvente de 10 g L⁻¹ e tempos de contato de 15, 30 e 60 min. A caracterização dos materiais incluiu TG, FTIR, FRX, DRX, potencial Zeta e ponto de carga zero. O carvão de oiticica apresentou baixa estabilidade coloidal e limitada eficiência adsorptiva, com resultados negativos de remoção, atribuídos à lixiviação de compostos do próprio material e à repulsão eletrostática com o fármaco. Em contrapartida, o carvão de Pinus sp. demonstrou remoção consistente (75–82%), atingindo equilíbrio adsorptivo em até 15 minutos, sem diferenças significativas entre os tempos de contato. Os achados ressaltam o desempenho consolidado do carvão comercial e indicam a necessidade de etapas de ativação e funcionalização para potencializar o uso do carvão de oiticica como adsorvente alternativo e de baixo custo.

Palavras-chave: Tratamento de água. Poluentes emergentes. Fármacos. Adsorventes natura

TITLE: Potential of Ibuprofen Removal from Aqueous Solutions by Adsorption onto Activated Carbon from Pinus sp. and Carbon from Licania rigida

Abstract

The presence of pharmaceuticals such as ibuprofen in water bodies represents an increasing challenge for environmental sanitation due to their low biodegradability and inefficient removal in conventional treatment plants. This study investigated the adsorption potential of two carbons: a commercial activated carbon from Pinus sp. and a carbon obtained from the husk of oiticica (*Licania rigida*), evaluated for the removal of ibuprofen from aqueous solution (5 mg L^{-1}) in batch experiments conducted at pH 5.5, with an adsorbent concentration of 10 g L^{-1} and contact times of 15, 30, and 60 min. The materials were characterized by TG, FTIR, XRF, XRD, zeta potential, and point of zero charge (pHpzc). The oiticica carbon exhibited low colloidal stability and limited adsorption efficiency, with negative removal values attributed to leaching of its own compounds and electrostatic repulsion with the drug. In contrast, Pinus sp. carbon showed consistent removal (75–82%), reaching adsorption equilibrium within 15 minutes, with no significant differences among contact times. These findings highlight the consolidated performance of commercial carbon and indicate the need for activation and functionalization steps to enhance the potential of oiticica carbon as a sustainable and low-cost alternative adsorbent.

Keywords: Water treatment. Emerging pollutants. Pharmaceuticals. Natural adsorbent

Introdução

Poluentes emergentes, como fármacos e desreguladores endócrinos, vêm recebendo crescente atenção devido aos riscos ecotoxicológicos e à saúde humana, mesmo em concentrações de traço. A ocorrência recorrente desses compostos em ambientes aquáticos reforça a necessidade de tecnologias de tratamento eficientes e economicamente viáveis. Nesse cenário, a adsorção com carvão ativado destaca-se pela alta eficiência, simplicidade operacional e ampla aplicabilidade.

Entre os fármacos mais frequentes, o ibuprofeno sobressai pela baixa biodegradabilidade e persistência. A descarga contínua de efluentes domésticos e hospitalares, aliada ao descarte inadequado, favorece sua entrada em corpos d'água, inclusive mananciais de abastecimento. Ainda em baixos níveis, preocupa, pois não é removido de forma eficiente em ETAs convencionais. A exposição crônica tem sido associada a efeitos subletais em organismos aquáticos (Tiwari et al., 2017). Além disso, o uso inadequado pode provocar eventos adversos, como distúrbios gastrointestinais, náusea, vertigem e edema (Pacheco et al., 2019).

O carvão ativado, em pó (PA) ou granular (GAC), já é consolidado em tratamento de água. Sua grande área superficial, estrutura micro/mesoporosa e química de superfície favorecem interações hidrofóbicas e π - π , assegurando a remoção de micropoluentes. Quando derivado de biomassas vegetais, agrega vantagens como custo competitivo e caráter renovável (Fangmeier, 2012).

Nesse contexto, adsorventes naturais surgem como alternativas sustentáveis e de baixo custo. Embora não sintetizados artificialmente, podem interagir com compostos orgânicos e inorgânicos, aplicando-se in natura ou após modificações que ampliem a eficiência (Madrid, 1997 apud Dantas, 2021). Destaca-se o carvão da casca da oiticica (*Licania rigida*), que representa até 35% da massa do fruto e, após ativação, pode alcançar alta área superficial, configurando-se como alternativa promissora para remoção de poluentes (Queiroga et al., 2016).

A oiticica é uma espécie nativa do semiárido nordestino, pertencente à família Chrysobalanaceae, com ampla ocorrência em bacias hidrográficas do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba (Beltrão et al., 2007). A árvore pode atingir 15 m de altura, possui copa densa, folhas coriáceas e frutos do tipo drupa, cujo endocarpo fibroso protege a amêndoa oleaginosa. Esta contém óleo de alta secatividade, rico em ácido licânico (70–80%), utilizado industrialmente desde a década de 1930 em tintas e resinas, após estabilização térmica (Moura et al., 2019).

Além do óleo, o endocarpo lignocelulósico apresenta elevada densidade, dureza e teor de carbono, despertando interesse na produção de carvão ativado como biossorvente de baixo custo. Essa aplicação contribui para o aproveitamento integral da planta e a valorização de resíduos agroindustriais (Moura et al., 2019).

Como referência, o carvão ativado de *Pinus* sp. é amplamente utilizado em escala comercial, com alta porosidade e área superficial que asseguram desempenho consolidado na adsorção de contaminantes. Assim, a comparação entre um adsorvente alternativo de origem regional (oiticica) e um produto consolidado no mercado (*Pinus*) permite avaliar vantagens e limitações de cada material.

Diante desse panorama, este estudo objetiva investigar a remoção de ibuprofeno em solução aquosa por adsorção, utilizando dois carvões: um comercial de *Pinus* sp. (ativado) e outro obtido da *Licania rigida*. Busca-se quantificar o desempenho e discutir a viabilidade técnica de cada material como adsorventes alternativos, de menor custo e base renovável.

Metodologia

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais e Reagentes

O ibuprofeno (Ibuprofen sodium salt, 98% de pureza, Sigma-Aldrich, EUA) foi utilizado como adsorvato. Os adsorventes empregados foram carvão ativado de Pinus sp. (Synth, Brasil) e carvão obtido da casca da oiticica (Licania rigida), sintetizado em laboratório (Seção 2.3). Como solvente, utilizou-se água deionizada (CTEC/UFRN). Para ajuste de pH, empregaram-se soluções de NaOH 1 mol L⁻¹ (Isofar, Brasil) e HCl 1 mol L⁻¹ (Sciavico, Brasil).

2.2 Preparo das Soluções

A solução estoque de ibuprofeno foi preparada pela dissolução de 0,0500 g do fármaco em balão de 500 mL com água deionizada, ajustada para pH 5,5. A partir dela, obteve-se solução de 5 mg L⁻¹, utilizada nos ensaios de adsorção.

2.3 Síntese do Carvão de Oiticica

A casca da oiticica foi lavada, seca a 105 °C por 1 h, triturada e peneirada em malha 30 mesh. O processo de carbonização ocorreu em duas etapas: aquecimento a 500 °C por 1 h e, em seguida, até 700 °C por mais 1 h, ambos a 20 °C/min. O material foi avaliado sem ativação química.

2.4 Caracterização dos Materiais

O carvão de oiticica foi caracterizado por TG/DTG, FTIR, FRX, DRX, potencial zeta e pH_{pzc}. O carvão de Pinus foi analisado quanto ao potencial zeta e pH_{pzc}.

2.4.1 Termogravimetria (TG/DTG)

A análise foi realizada em atmosfera oxidante para avaliar estabilidade térmica e perdas de massa associadas a umidade, voláteis e oxidação.

2.4.2 Espectroscopia FTIR

Os espectros foram obtidos em espectrofotômetro Shimadzu IRTracer-100 (400–4000 cm⁻¹), identificando grupos funcionais de superfície.

2.4.3 Fluorescência de Raios X (FRX)

A FRX determinou a composição elementar, permitindo verificar resíduos minerais.

2.4.4 Difração de Raios X (DRX)

A DRX foi conduzida no intervalo 2θ de 5°–70°, visando identificar fases cristalinas ou regiões amorfas.

2.4.5 Potencial Zeta

O potencial zeta foi obtido por mobilidade eletroforética em diferentes valores de pH. Para o carvão de oiticica utilizou-se analisador Brookhaven; para o Pinus, equipamento equivalente.

2.4.6 Ponto de Carga Zero (pHpzc)

Determinou-se pelo método da deriva potenciométrica. Soluções de NaCl 0,01 mol L⁻¹ foram ajustadas de pH 2 a 12, adicionando-se 0,1 g de carvão em 50 mL. As amostras ficaram 24 h em shaker e o pHpzc foi identificado no ponto em que $\Delta\text{pH} = 0$.

2.5 Varredura Espectral

O λ_{max} do ibuprofeno foi determinado por varredura entre 190 e 1100 nm em solução de 10 mg L⁻¹, em espectrofotômetro UV-Vis HACH DR5000.

2.6 Curvas de Calibração

Foram preparadas seis curvas no intervalo de 1 a 10 mg L⁻¹, com leituras em triplicata. Os resultados foram consolidados em curva única, validada por regressão linear ($R^2 > 0,99$).

2.7 Ensaio de Adsorção

Os experimentos foram conduzidos em batelada, com solução de ibuprofeno 5 mg L⁻¹ e 1,0 g de carvão (10 g L⁻¹) em pH 5,5. Amostras de 100 mL foram agitadas em shaker (25 °C, 100 rpm) por 15, 30 e 60 min, em triplicata. Após filtração (0,22 μm), as concentrações residuais foram obtidas no λ_{max} e calculada a eficiência de remoção pela Equação (1):

$$(1) R\% = ((C_0 - C_e) / C_0) \times 100$$

em que R% é a remoção, C_0 a concentração inicial e C_e a concentração no equilíbrio.

Resultados e Discussões

3.1 Caracterização dos Materiais

Os resultados da caracterização físico-química e morfológica dos adsorventes são apresentados a seguir, abrangendo análises estruturais, químicas, térmicas e de superfície.

3.1.1 Termogravimetria (TG)

Na Figura 1 apresenta-se a curva termogravimétrica (TG) e sua derivada (DTG) para o carvão carbonizado da casca da oitica, evidenciando as etapas de perda de massa associadas à eliminação de umidade, decomposição dos constituintes lignocelulósicos e degradação da fração carbonosa residual.

A curva TG evidencia três etapas principais de perda de massa. A primeira ocorre até aproximadamente 150 °C, relacionada à eliminação de umidade e compostos voláteis adsorvidos fisicamente. A segunda, entre 250 °C e 450 °C, corresponde à decomposição dos constituintes lignocelulósicos remanescentes, especialmente hemicelulose, celulose e parte da lignina, com pico máximo de degradação em torno de 380–400 °C, conforme indicado pela curva DTG. Esse evento resulta na maior taxa de perda de massa do material. A terceira etapa, acima de 600 °C, associa-se à degradação mais lenta da fração carbonosa estável, incluindo resíduos de lignina e estruturas aromáticas condensadas, indicando elevada resistência térmica do carvão obtido.

No total, observa-se uma perda de massa de aproximadamente 70%, restando cerca de 30% de material carbonizado ao final do aquecimento, o que demonstra a eficiência do processo de carbonização na geração de uma matriz estável e rica em carbono fixo. A estabilidade térmica residual sugere que o carvão da oiticica apresenta potencial favorável para aplicação como adsorvente, uma vez que mantém estrutura resistente mesmo em temperaturas elevadas.

A principal etapa de degradação térmica ocorre entre 370 e 500 °C, caracterizada por acentuada redução da massa, relacionada à decomposição da matriz lignocelulósica residual. Esse comportamento evidencia que o carvão apresenta estabilidade nas condições de operação dos ensaios de adsorção de ibuprofeno (20–40 °C), garantindo integridade estrutural durante o contato com a solução aquosa.

Acima de 500 °C, a curva apresenta tendência de estabilização, com baixa formação de cinzas e consequente predominância da fração carbonácea. Tal característica é vantajosa para o processo de adsorção, pois implica em maior proporção de sítios hidrofóbicos e aromáticos, favoráveis à interação por forças de dispersão e interações π – π com o anel benzênico do ibuprofeno. Dessa forma, os resultados da análise termogravimétrica reforçam o potencial do carvão de oiticica como material adsorvente, tanto pela estabilidade térmica quanto pela composição majoritariamente carbonácea que favorece a remoção do fármaco em solução aquosa.

3.1.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os resultados da análise de Fluorescência de Raios X (FRX) estão apresentados na Tabela 1. Verifica-se que os elementos majoritários no carvão da casca da oiticica são cálcio (Ca, 43,63%), potássio (K, 30,77%), magnésio (Mg, 7,68%), silício (Si, 6,22%) e cloro (Cl, 6,17%). A elevada proporção de Ca e K está associada à composição inorgânica natural da biomassa de origem, podendo refletir a presença de sais minerais característicos de tecidos vegetais.

Além desses, outros elementos como P, S, Al, Fe, Mn, Cu e Zn foram detectados em concentrações residuais (0,05–0,20%). A ausência de metais pesados tóxicos (Pb, Cd, Hg e As) constitui um resultado positivo, reforçando a viabilidade do material para aplicações ambientais. A predominância de metais alcalinos e alcalino terrosos sugere ainda que o carvão apresenta potencial para interações específicas com espécies em solução, sem risco de liberação de contaminantes indesejáveis.

3.1.3 Difração de Raios X (DRX)

No difratograma de raios X (Figura 2) referente ao carvão da casca da oiticica, observa-se a presença de picos intensos e bem definidos, característicos de fases cristalinas. O pico de maior intensidade, localizado em torno de $2\theta \approx 27^\circ$, juntamente com outros distribuídos entre 20° e 50° , sugere a ocorrência de sais minerais ou óxidos metálicos remanescentes da biomassa. Esse resultado está de acordo com a análise de FRX, que revelou a predominância de cálcio, potássio, magnésio e silício na composição elementar do material.

A coexistência de uma matriz carbonosa amorfa com fases inorgânicas cristalinas indica que o carvão de oiticica mantém impurezas minerais provenientes da biomassa original, as quais podem atuar como sítios ativos adicionais ou, em contrapartida, reduzir a área superficial disponível. Essa característica deve ser considerada na avaliação do material como adsorvente, visto que a presença de minerais pode favorecer interações específicas com contaminantes, mas também limitar a acessibilidade de moléculas orgânicas como o ibuprofeno aos microporos do carvão.

3.1.4 Potencial Zeta

3.1.4.1 Carvão de *Licania rigida* (oiticica)

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos ensaios de potencial zeta do carvão obtido por carbonização da semente de *Licania rigida* (oiticica), conduzidos em diferentes valores de pH (2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14). Os valores medidos permaneceram sempre positivos, variando entre +12,35 mV e +27,52 mV, sem ultrapassar o limite de 30 mV. Esses resultados indicam baixa estabilidade coloidal do material em toda a faixa de pH estudada, com tendência à agregação e consequente redução da área superficial efetivamente disponível para processos de adsorção.

3.1.4.2 Carvão *Pinus* sp. (comercial)

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos ensaios de potencial zeta do carvão *Pinus* sp. (comercial), conduzidos em diferentes valores de pH (2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14). Os valores de potencial zeta obtidos para o carvão de *Pinus* evidenciam uma clara dependência do pH. Em meio ácido (pH 2–3), observaram-se valores positivos, variando entre +2,44 e +4,07 mV, indicando instabilidade coloidal e propensão à aglomeração das partículas. No pH 4 ocorreu a inversão da carga superficial (–7,09 mV), situando o ponto de carga zero (pHpzc) na faixa entre 3,5 e 4,0. A partir desse ponto, os valores tornaram-se progressivamente negativos, atingindo –29,09 mV em pH 6 e mantendo-se entre –18,91 e –28,41 mV até pH 10, condição que representa estabilidade moderada e favorece a dispersão das partículas em suspensão, além de ampliar a interação com espécies catiônicas. Em meio alcalino (pH 11–12), o potencial zeta alcançou os valores mais negativos (–39,23 e –35,35 mV), caracterizando elevada estabilidade coloidal e intensa repulsão eletrostática entre partículas. A mobilidade eletroforética apresentou comportamento coerente com os valores de potencial zeta, confirmando a consistência das medidas. Assim, os resultados demonstram que o carvão de *Pinus* apresenta carga superficial positiva apenas em condições fortemente ácidas, enquanto em ampla faixa de pH intermediário a alcalino mantém elevada estabilidade eletroquímica, o que é favorável aos processos de adsorção de espécies carregadas positivamente.

3.1.5 pH Carga Zero

A determinação do ponto de carga zero (pHpzc) é fundamental para compreender as propriedades superficiais dos carvões e sua influência nos processos de adsorção. O pHpzc corresponde ao valor de pH no qual a superfície do material apresenta carga líquida nula, em equilíbrio entre a adsorção de íons H^+ e OH^- . Em valores de pH superiores ao pHpzc, a superfície do adsorvente tende a adquirir carga negativa, favorecendo a interação com espécies catiônicas, enquanto em pH inferiores ao pHpzc predomina carga positiva, aumentando a afinidade por espécies aniônicas. Esse parâmetro constitui, portanto, um fator determinante para prever o desempenho dos carvões na remoção de poluentes emergentes em solução aquosa. Nesse contexto, os valores de pH empregados nos ensaios de adsorção foram definidos com base na análise conjunta do pHpzc dos adsorventes e do pKa do ibuprofeno, assegurando condições representativas da interação eletrostática entre o fármaco e a superfície do material.

3.1.5.1 Carvão de Licania rigida (oitica)

O carvão obtido da casca do fruto da oitica apresentou pHpzc próximo a 3,8. Esse valor foi evidenciado pelo comportamento de neutralização em soluções inicialmente ácidas e pela expressiva redução de pH em meios alcalinos apresentados na Figura 3, chegando a uma diferença de até 6 unidades entre o pH inicial e final. Essa tendência indica uma superfície rica em grupos funcionais ácidos, capazes de liberar prótons e acidificar o meio aquoso. Em condições de adsorção a pH 5,5, portanto acima do pHpzc, a superfície do material encontra-se predominantemente carregada negativamente. Nessa faixa, o ibuprofeno apresenta-se também em sua forma aniônica, o que resulta em interações eletrostáticas de repulsão, contribuindo para a menor eficiência adsorptiva do carvão de oitica.

3.1.5.2 Carvão de Pinus sp

Os resultados da Figura 4 mostram a variação entre os valores de pH inicial e final após contato do carvão de Pinus sp. com soluções de NaCl $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, segundo a metodologia da deriva potenciométrica. Observa-se que para valores de pH inicial inferiores a 7, ocorre aumento expressivo do pH final (ΔpH positivo), o que indica liberação de grupos básicos da superfície do carvão para a solução. Em contrapartida, para valores de pH inicial acima de 9, verifica-se redução do pH final (ΔpH negativo), refletindo comportamento ácido da superfície. A tendência de cruzamento em torno de pH $\sim 7,5\text{--}8,0$ sugere que o ponto de carga zero (pHPCZ) do carvão de Pinus sp. se encontra nessa faixa.

Nos ensaios de adsorção conduzidos em pH 5,5, o sistema operou abaixo do pHPCZ estimado. Nessa condição, a superfície do carvão encontra-se predominantemente carregada positivamente, favorecendo a interação eletrostática com moléculas de caráter aniônico, como o ibuprofeno em pH próximo a 5,5 ($\text{pKa} \approx 4,9$). Dessa forma, a correlação entre a caracterização superficial e o desempenho experimental indica que o ambiente ácido favorece a adsorção do fármaco, uma vez que a repulsão eletrostática é minimizada e há maior atração entre o adsorvato ionizado e a superfície protonada do adsorvente.

3.2 Ensaio de Varredura Espectral

A varredura espectrofotométrica da solução aquosa de ibuprofeno sódico em água deionizada revelou dois picos máximos de absorbância, em 193 e 220 nm (Figura 5). O comprimento de onda de 220 nm foi selecionado para as análises subsequentes por apresentar maior estabilidade e conformidade com a Lei de Lambert-Beer, que estabelece a relação linear entre absorbância e concentração.

3.3 Curva de Calibração Final

A curva de calibração do ibuprofeno (Figura 6) apresentou ajuste linear satisfatório no intervalo de 1 a 10 mg L⁻¹, com coeficiente de determinação R²=0,985. Cada ponto da curva corresponde a seis leituras de absorbância obtidas em curvas independentes, o que reforça a consistência e a robustez do método. O coeficiente angular da reta (0,0342) expressa a sensibilidade analítica, enquanto o intercepto reduzido (0,0026) indica baixa contribuição de absorbância de fundo. A validação do método pode ser observada em (Autor, ano), corroborando a aplicabilidade da espectrofotometria UV-Vis para quantificação do fármaco em solução aquosa.

3.4 Ensaios de Adsorção

3.4.1 Adsorção com carvão de Licania rigida (oiticica)

Na Tabela 4 apresentam-se os valores médios de absorbância obtidos nas triplicatas, bem como as concentrações residuais calculadas, percentuais de remoção e parâmetros estatísticos associados (desvio padrão, erro padrão e coeficiente de variação). Os dados obtidos refletem a precisão experimental e o desempenho inicial do carvão de oiticica não ativado na adsorção do ibuprofeno em diferentes tempos de contato.

As triplicatas de concentração residual apresentaram baixa variabilidade, garantindo boa reprodutibilidade, mas os valores obtidos foram superiores à concentração inicial do ibuprofeno. Esse resultado sugere que, além da baixa eficiência adsorptiva do carvão de oiticica em sua forma não ativada, pode ter ocorrido lixiviação de compostos do próprio material para a solução, contribuindo para o aumento da absorbância no mesmo comprimento de onda do fármaco. Assim, a resposta observada reflete não apenas a limitação estrutural do carvão — sem ativação, com baixa área superficial e micro porosidade restrita —, mas também o caráter eletrostático do sistema.

Nos ensaios realizados em pH 5,5, a interpretação pode ser aproximada pelos resultados de potencial Zeta em pH 6,0, que indicaram valor de +21,9 mV. Embora positivo, esse valor é inferior ao limiar de 30 mV, caracterizando baixa estabilidade coloidal e favorecendo a agregação das partículas, com consequente redução da área superficial efetiva. Nesse pH, o ibuprofeno encontra-se predominantemente na forma aniônica (pK_a ≈ 4,9), o que teoricamente favoreceria a interação eletrostática com a superfície carregada positivamente. No entanto, a baixa magnitude do potencial Zeta e a ausência de ativação do carvão reduziram a efetividade dessa interação, resultando na baixa eficiência de remoção do poluente.

Diante desse cenário, evidencia-se a necessidade de etapas adicionais de modificação do material. Além da ativação física ou química para aumento da área superficial e desenvolvimento da micro porosidade, a funcionalização constitui estratégia promissora, permitindo a introdução de grupos específicos que alterem a química de superfície e ampliem as interações com o adsorvato. Processos de funcionalização catiônica, por exemplo, podem incorporar grupos amina ou sais de amônio quaternário, conferindo carga positiva à superfície e favorecendo a atração eletrostática com o ibuprofeno em meio aquoso. Assim, a combinação entre ganho estrutural e ajuste químico de superfície desponta como abordagem promissora para potencializar a eficiência adsortiva do carvão de oiticica.

3.4.2 Adsorção com carvão Pinus sp. (comercial)

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos com o carvão ativado de Pinus sp., incluindo as médias das triplicatas de absorvância, as concentrações residuais de ibuprofeno, os percentuais de remoção e os parâmetros estatísticos de suporte (desvio padrão, erro padrão da média e coeficiente de variação). Esses valores evidenciam o comportamento do material comercial ao longo dos diferentes tempos de contato, oferecendo um parâmetro de comparação para avaliar o desempenho relativo do carvão de oiticica.

Conforme se verifica na Tabela 5, as triplicatas da concentração residual exibiram baixa variabilidade, evidenciada pelos reduzidos valores de desvio padrão, erro padrão da média e coeficiente de variação, confirmando a consistência experimental.

Observa-se que, independentemente do tempo de contato avaliado (15, 30 ou 60 minutos), o percentual de remoção de ibuprofeno manteve-se elevado, variando entre 75 e 82%. Esses valores indicam desempenho adsortivo satisfatório do carvão comercial, com comportamento estável ao longo do tempo. A análise de variância (ANOVA) corroborou essa tendência, apontando ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os tempos de contato ($F = 2,10$; $p = 0,203$). Assim, conclui-se que o equilíbrio adsortivo foi atingido rapidamente, já nos primeiros 15 minutos de ensaio, e que o carvão de Pinus sp. apresentou desempenho consistente, com elevada eficiência e independência em relação ao tempo de contato dentro do intervalo estudado.

Esse comportamento está associado às características do carvão ativado de Pinus sp., cuja elevada área superficial e estrutura micro/mesoporosa favorecem a difusão e a interação das moléculas de ibuprofeno com a superfície do material. Assim, os resultados obtidos reforçam a adequação do carvão comercial como referência de eficiência, servindo de parâmetro comparativo para materiais alternativos, como o carvão de oiticica.

Conclusão

O estudo demonstrou que o carvão ativado de *Pinus* sp. apresentou elevada eficiência adsorptiva, com remoção estável de ibuprofeno entre 75–82% e rápido alcance do equilíbrio em até 15 minutos, o que reforça sua aplicabilidade em processos de tratamento de água.

Em contraste, o carvão de oiticica não ativado exibiu baixo desempenho, com concentrações residuais superiores à inicial, possivelmente associadas à lixiviação de compostos, confirmando limitações estruturais e eletrostáticas para a adsorção do fármaco.

A análise integrada do ponto de carga zero e do potencial Zeta evidenciou que a superfície do carvão de oiticica apresenta predominância de cargas negativas em pH 5,5, coincidindo com a forma aniônica do ibuprofeno e resultando em repulsão eletrostática. Por outro lado, o carvão de *Pinus* apresentou carga superficial positiva nessa condição, favorecendo a interação com o adsorvato.

Esses resultados indicam que o desempenho reduzido do carvão de oiticica pode ser superado por meio de etapas de ativação física ou química, bem como de processos de funcionalização de superfície. Tais estratégias têm o potencial de ampliar a área específica, a micro porosidade e as interações químicas, conferindo viabilidade técnica e sustentabilidade ao aproveitamento desse subproduto agroindustrial como adsorvente alternativo no tratamento de águas contaminadas por poluentes emergentes.

Referências

CORREIA, J. V.; SILVA, P. H. da; PERON, K. A.; VIEIRA, E. M. Determinação das condições cromatográficas para a análise de diclofenaco, ibuprofeno e naproxeno em efluentes / Determination of chromatographical conditions for the analysis of diclofenac, ibuprofen and naproxen in effluents. *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], v. 6, n. 6, p. 33624–33629, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n6-061. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/11036>. Acesso em: 14 ago. 2025.

DANTAS, Lorena Vanessa Medeiros. Utilização da casca do fruto da Oiticica (*Licania rígida* Benth) no tratamento de amostras de águas de poços de São José do Seridó - RN. 2021. 42 f. Monografia (Graduação em Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde, Cuité, 2021. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/19169>. Acesso em: 14 ago. 2025.

DJEZZAR, Zohra; AIDI, Amel; REHALI, Hanane; ZIAD, Sbarina; OTHMANE, Tarik. Characterization of activated carbon produced from the green algae *Spirogyra* used as a cost-effective adsorbent for enhanced removal of copper(ii): application in industrial wastewater treatment. *RSC Advances*, [S. l.], v. 14, n. 8, p. 5276–5289, fev. 2024. Royal Society of Chemistry. DOI: 10.1039/d3ra08678j. Disponível em:

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2024/ra/d3ra08678j>. Acesso em: 28 ago. 2025.

FANGMEIER, Michele; HOEHNE, Lucélia. Avaliação de carvão ativado e de sílica como adsorventes para amostras com corantes e com sódio. Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, RS, v. 4, n. 4, 2012. Disponível em: <https://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/242>. Acesso em: 30 jul. 2025.

GE, Q.; LI, P.; LIU, M. et al. Remoção de azul de metileno por biocarvão poroso obtido por ativação de KOH a partir de biocarvão de bambu. Bioresources and Bioprocessing, v. 10, p. 51, 2023. DOI: 10.1186/s40643-023-00671-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00671-2>. Acesso em: 28 ago. 2025.

QUEIROGA, V. de P.; BARBOSA, C. R. C.; FIRMINO, P. de T.; ALMEIDA, F. de A. C.; ALBUQUERQUE, E. M. B. de. Oiticica: exploração agrônômica e aproveitamento energético. 2. ed. Campina Grande: AREPB, 2016.

TIWARI, Bhagyashree; SELLAMUTHU, Balasubramanian; OUARDA, Yassine; DROGUI, Patrick; TYAGI, Rajeshwar D.; BUELNA, Gerardo. Review on fate and mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach. Bioresource Technology, [S. l.], v. 224, p. 1-12, jan. 2017. Elsevier. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.11.042. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416315577?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jul. 2025.

VALENCIA, Claudia Alexandra Vizcarra. Aplicação da adsorção em carvão ativado e outros materiais carbonosos no tratamento de águas contaminadas por pesticidas de uso agrícola. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10607/10607_4.PDF. Acesso em: 19 jul. 2025.

XAVIER FILHO, Luiz Carlos. Espectrofotometria UV-visível aplicada à quantificação e validação analítica do ibuprofeno de sódio. 2025. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2025. Parte superior do formulário

Anexos



Imagens

CÓDIGO: ET1145

AUTOR: MARIA AMANDA DA SILVA NASCIMENTO

COAUTOR: JERIAN LUCAS MAFRA

COAUTOR: JÔNATA SILVA DO NASCIMENTO ANDRADE

ORIENTADOR: MARCOS SILVA DE AQUINO

TÍTULO: APLICAÇÃO DOS TECIDOS DE MALHA PRODUZIDOS EM CABO DE SISAL COM POSIÇÕES VARIADAS NO CONCRETO PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL E GEORREDES

Resumo

O estudo sobre a tecnologia inovadora das malhas 3D aplicadas a geossintéticos avançou com a criação de novas amostras confeccionadas em malha com fio de sisal (Agave Sisalana), fibra natural de alta resistência e origem renovável. Esta malha tridimensional foi confeccionada com filamentos entrelaçados em diferentes camadas e formas, proporcionando uma combinação eficaz de força e flexibilidade, otimizando o desempenho das geossintéticas em projetos de construção e infraestrutura. Portanto, o objetivo é potencializar a resistência mecânica, a durabilidade e a interação solo-geossintético, ampliando o desempenho em estabilização, controle de erosão, reforço de solos e obras ambientais. Assim, a continuidade desse estudo reforça o potencial dessas georredes de sisal como alternativa eficiente e sustentável para obras de engenharia civil e ambiental.

Palavras-chave: Malhas 3D, Geossintéticos, Sisal(Agave Sisalana), Sustentabilidade

TITLE: APPLICATION OF MESH FABRICS PRODUCED FROM SISAL CABLE WITH VARIOUS POSITIONS IN CONCRETE FOR APPLICATION IN CIVIL CONSTRUCTION AND GEOREDES

Abstract

The study on the innovative technology of 3D meshes applied to geosynthetics has advanced with the development of new samples made from sisal (*Agave Sisalana*) yarn, a natural fiber of high strength and renewable origin. The tridimensional mesh was manufactured with filaments interlaced in different layers and patterns, providing an effective combination of strength and flexibility, thus optimizing the performance of geosynthetics in construction and infrastructure projects. The main objective is to enhance mechanical resistance, durability, and soil–geosynthetic interaction, improving efficiency in soil stabilization, erosion control, reinforcement, and environmental works. Therefore, the continuation of this research highlights the potential of sisal-based geogrids as an efficient and sustainable alternative for civil and environmental engineering applications.

Keywords: 3D Meshes, Geosynthetics, Sisal (*Agave Sisalana*), Sustainability

Introdução

Os materiais têxteis têm acompanhado a trajetória da humanidade desde os tempos antigos, sendo inicialmente utilizados com fins de proteção e sobrevivência. No contexto atual, sua aplicação transcende o vestuário, estendendo-se a múltiplos setores da indústria. A engenharia têxtil destaca-se como um campo multidisciplinar voltado ao desenvolvimento de soluções técnicas inovadoras, empregadas nos segmentos da moda, saúde, transporte, aeroespacial e, mais recentemente, na construção civil. Seu foco reside na melhoria do desempenho dos materiais, na racionalização dos processos produtivos e na redução de custos, mantendo como diretriz os princípios da sustentabilidade.

No âmbito da construção civil, as tecnologias têxteis vêm sendo progressivamente incorporadas aos sistemas construtivos. Dentre essas inovações, o concreto têxtil representa um avanço significativo ao oferecer uma alternativa eficiente à corrosão de armaduras metálicas, por meio da substituição do aço por fibras têxteis contínuas. Essa substituição resulta em estruturas mais leves, duráveis e ambientalmente adequadas.

Uma das grandes vantagens deste compósito é a sua capacidade de se adaptar às mais diversas formas. As vantagens dominam ainda nos campos de aplicações onde elementos estruturais finos necessitam suportar grande capacidade de carregamento” (ALMEIDA et al., 2018, apud RAUPACH et al., 2006, p. 77).

A interdisciplinaridade entre áreas da engenharia tem se mostrado essencial para o desenvolvimento de materiais com propriedades aprimoradas e menor impacto ambiental. Nesse cenário, a utilização de subprodutos naturais e resíduos industriais ganha destaque como estratégia sustentável. Fibras vegetais como as de coco, sisal, palmeira e abacaxi apresentam potencial significativo de aplicação em compósitos cimentícios, atuando como substitutos parciais de insumos não renováveis. O aproveitamento dessas fibras contribui para a redução da exploração de minérios,

diminuição dos impactos ambientais e otimização dos processos industriais, com menor demanda de água e energia.

Independentemente de sua produção (artesanal ou industrial), tecidos de malha podem ser definidos como os “resultantes da formação de laços que se interpenetram e se apóiam lateral e verticalmente, provenientes de um ou mais fios” (RIBEIRO, 1984, p. 65)

O sisal (*Agave sisalana*), em particular, configura-se como uma fibra de ampla disponibilidade e relevante valor econômico. Tradicionalmente utilizado na produção de artefatos artesanais, cordas e amarrações, o sisal apresenta propriedades físico-mecânicas favoráveis à sua aplicação na construção civil. Segundo análise de Pinto (2018), sua composição apresenta aproximadamente 67,2% de celulose, o que lhe confere elevada resistência à tração, à ruptura e ao alongamento. Além disso, características estruturais como o menor ângulo espiral e o maior comprimento das fibro-células resultam em maior resistência mecânica.

As estruturas têxteis de malha possuem, como característica principal, a formação por laçadas, o que lhes proporciona boa elasticidade e estabilidade dimensional. A malha tridimensional (3D), por sua vez, diferencia-se por possuir espessura definida, além de comprimento e largura, resultando em uma estrutura mais complexa em comparação às malhas convencionais. Pesquisas recentes têm evidenciado o avanço no desenvolvimento e aplicação de malhas 3D em áreas como arquitetura têxtil, reforço estrutural de pisos e fundações, contenção de solos, barragens, sistemas de drenagem e elementos de segurança.

No setor da construção civil, os geotêxteis tricotados — compostos por malhas técnicas — emergem como alternativas promissoras na fabricação de georredes com maior eficiência técnica e menor impacto ambiental. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo principal investigar a aplicação de uma estrutura de malha 3D confeccionada com fios de sisal, incorporada ao concreto, avaliando seu desempenho em obras civis e seu potencial como mat

Metodologia

Dando continuidade a pesquisa foram confeccionadas mais 17 malhas, com fio de Sisal (*Agave sisalana*), manualmente em tear de pregos construídos pelos autores.

A mistura dos materiais foi feita na betoneira e após alcançado o slump ideal, foi transferido para os moldes cilíndricos.

Os moldes utilizados têm tamanho de 0,50m de largura, 0,15m de altura e 0,15m de comprimento.

Os moldes foram preenchidos com uma primeira camada de concreto, e a malha foi posicionada nos formatos em “V” e “T”, e os demais espaços foram preenchidos com o

concreto restante. O vibrador foi utilizado para deixar o material dentro do molde uniformizado.

Foram utilizados 2 moldes, sendo eles: 1 molde com a malha no formato em “V”, e 1 molde com malha no formato em “T”

Os corpos de prova foram retirados dos moldes 72 horas após a confecção, com um tempo total de cura de 21 dias. Eles serão enterrados no dia 08/09/2025, depois de completar o tempo de cura. Os mesmos serão desenterrados dia 17/12/2025, 100 dias após enterrá-los.

Os corpos de prova nº 6 e nº 7, irão ser enterrados e assim ficarão por 100 dias. Após isso, serão submetidos à uma análise em MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura), que irá caracterizar a morfologia e a topografia em alta resolução, a fim de entendermos a estrutura dessas fibras, e como elas reagem ao processo de degradação do solo.

Os ensaios de resistência à tração na flexão foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil, na máquina universal de ensaios Amsler, orientados pela NBR 6118.

Os valores de resistência à tração foram calculados conforme a fórmula apresentada na NBR 12142:2010 considerando o local da ruptura dentro do terço médio do prisma em todos os corpos de prova testados.

$$f_{ct,f} = F \cdot l \cdot b \cdot d^2$$

Onde:

$f_{ct,f}$ É a resistência à tração na flexão (MPa);

F é a força máxima registrada na máquina de ensaio (N);

l É a dimensão do vão entre apoios (mm);

b É a largura média do corpo de prova (mm);

d É a altura média do corpo de prova (mm);

Resultados e Discussões

Santos, 2014, explica que “a resistência à tração é a propriedade que um material possui de suportar cargas de tensão. É basicamente a capacidade que o concreto possui de suportar esforços inversos ao da compressão. ”

Nesse sentido, os valores obtidos através dos testes realizados podem ser observados na Tabela 3:

A resistência à tração por flexão e a resistência à compressão representam propriedades mecânicas cruciais na análise do desempenho do concreto, especialmente em ensaios realizados com corpos prismáticos. É sabido que o concreto possui baixa resistência quando submetido a esforços trativos, sendo esse valor estimado em torno de 10% da sua resistência à compressão. Tal limitação estrutural torna o material vulnerável a fissuras e fraturas quando exposto a tensões de tração.

A interação entre os dois tipos de resistência — à tração na flexão e à compressão — está diretamente relacionada à forma como as tensões internas se distribuem ao longo do corpo de prova. Sob carregamento flexional, a parte superior do prisma é comprimida, enquanto a inferior é tracionada. Por essa razão, a resistência à tração na flexão é fundamental para avaliar o desempenho da zona inferior, enquanto a resistência à compressão sustenta a estabilidade da região superior.

Neste estudo, investigou-se o comportamento de corpos de prova contendo malhas de sisal posicionadas no centro da estrutura, sob condições ambientais similares. Os espécimes CP nº 0 e CP nº 1 demonstraram melhoria na resistência mecânica, com valores que variaram de 2,7 MPa para aproximadamente 3,0 MPa, o que evidencia a contribuição da malha de sisal para a integridade estrutural do compósito.

Já os corpos de prova CP nº 2 e CP nº 3, que permaneceram por períodos mais longos em contato direto com o solo, apresentaram comportamentos distintos. O CP nº 2 registrou uma redução nos valores de resistência, enquanto o CP nº 3, embora exposto por um tempo ainda maior, obteve um discreto aumento em comparação ao anterior. Mesmo assim, ambos ficaram abaixo do desempenho apresentado pelos corpos CP nº 0 e CP nº 1, que não foram enterrados.

Os espécimes CP nº 4 e CP nº 5, também submetidos a longos períodos de exposição ao solo, mostraram desempenho mais expressivo. O CP nº 4 destacou-se por apresentar o maior ganho de resistência até o momento da pesquisa, superando todos os demais corpos de prova. O CP nº 5, embora com desempenho superior ao de CP nº 2 e CP nº 3, apresentou resultados inferiores em comparação ao CP nº 4.

Esses dados indicam que a inserção de malha de sisal no concreto pode influenciar de forma positiva a resistência à tração na flexão, embora fatores como tempo de exposição e condições ambientais, especialmente o contato com o solo, desempenhem um papel relevante na degradação ou preservação da fibra. A continuidade do estudo buscará aprofundar a compreensão sobre como essas variáveis afetam o comportamento mecânico e a durabilidade do material, com o intuito de otimizar sua aplicação em elementos estruturais sustentáveis.

Os resultados obtidos nesta etapa da pesquisa sugerem que a umidade presente no solo exerce influência significativa sobre o desempenho do concreto, tanto durante o processo de cura quanto ao longo do tempo de serviço da estrutura. Entre os impactos identificados, destaca-se a variação dimensional do material devido à absorção de água. Quando exposto a ambientes úmidos, o concreto tende a expandir; por outro lado, na

ausência de umidade, ocorre retração. Esse ciclo de expansão e contração pode provocar tensões internas, contribuindo para o surgimento de fissuras e, conseqüentemente, para a redução da estabilidade estrutural do material.

Outro fator de relevância é a agressividade química de certos solos. A composição química do solo pode conter substâncias que reagem com os constituintes do concreto, acelerando seu processo de degradação. A água infiltrada por microfissuras e porosidades pode alcançar o interior da matriz cimentícia, afetando elementos internos de reforço — como as fibras de sisal utilizadas nesta pesquisa — ou, em sistemas tradicionais, as armaduras metálicas. Tais reações comprometem a integridade da estrutura e diminuem sua durabilidade.

Mais um fator importante para esses resultados, é a aderência da fibra de sisal ao cimento:

A importância de a fibra de sisal possuir uma boa aderência à matriz cimentícia se deve ao fato de que características do concreto como a resistência, deformações e a diminuição do tamanho das fissuras estão diretamente associadas a esse fator. (Amaral et al, 2011, p. 4)

A aderência entre as fibras naturais e a matriz do concreto também é um aspecto crucial para o desempenho mecânico do compósito. Estudos realizados por Ferreira et al. (apud Silva, 2018) demonstram que a aplicação de tratamentos prévios nas fibras, como a hornificação (processo de alternância entre umidificação e secagem), o tratamento alcalino ou a impregnação com resinas poliméricas, resulta em significativa melhoria na aderência entre o reforço fibroso e o cimento.

Segundo Silva (2018), o uso do sisal em compósitos cimentícios ocorre com maior frequência sob a forma de fibras curtas ou polpa dispersa na mistura. Nessa configuração, observa-se uma capacidade residual de resistência à tração, sendo a aplicação mais adequada em elementos não estruturais, dada a limitação de desempenho em situações de altas exigências mecânicas.

Apesar das restrições relacionadas ao uso estrutural, as fibras naturais oferecem vantagens notáveis, tanto econômicas quanto ambientais. O sisal, em particular, apresenta alto potencial de reaproveitamento e baixo impacto ambiental, o que o torna um material promissor dentro de propostas sustentáveis. Ainda assim, faz-se necessário ampliar as investigações sobre o uso da fibra em configurações têxteis, como estruturas de malha tridimensionais, a fim de comprovar sua viabilidade técnica como reforço em compósitos cimentícios e ampliar sua aplicabilidade em sistemas construtivos inovadores.

Conclusão

Dando continuidade à pesquisa, foram confeccionados dois corpos de prova em formato “T” e “V”, que, apesar de submetidos à degradação do solo, ainda não chegaram a ser rompidos. Ressaltando a importância de investigações para compreender se o posicionamento das malhas irá influenciar na resistência à tração. Continuará sendo observado melhor os efeitos a longo prazo da exposição a ambientes úmidos e avaliado de forma mais ampla o desempenho estrutural das fibras naturais no concreto. No entanto, é essencial realizar investigações adicionais para explorar plenamente o potencial das fibras naturais na resistência do concreto e para entender melhor os efeitos a longo prazo da exposição a condições de solo úmido. Apesar da necessidade de mais pesquisas, os resultados preliminares são promissores e sugerem que fibras naturais, como o sisal, podem oferecer benefícios substanciais tanto em termos econômicos quanto ambientais.

Referências

ALMEIDA, Lucas Pereira de; COSTA, Ana Paula da Silva Souza; SILVA, Lunara de Andrade; BEDÊ, Pedro Marins. Concreto têxtil: análises quanto ao custo dos insumos e de produção. 2018. Disponível em:

<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos18/532655.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.

SILVA, Everton; MARQUES, Maria Lidiane; FORNARI JUNIOR, Celso; VELASCO, Fermin. Análise técnica para o reaproveitamento da fibra de coco na construção civil. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, Guarapuava, v. 11, n. 3, p. 669-683, set. 2015. Quadrimestral. Disponível em:

<https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/2555>. Acesso em: 5 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2015. 29 p. Disponível em:

<https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17831/material/NBR%2012655%20-%202015.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

SANTOS, Icaro Mariani Ribeiro dos. Estudo de dosagens de concreto para aumento da resistência à tração na flexão. 2014. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

RIBEIRO, LUIZ GONZAGA. Introdução à Tecnologia Têxtil. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 1984.

Anexos



Figuras 1-2: Malha de sisal confeccionada em um tear de pregos.



Figuras 1-2: Malha de sisal confeccionada em um tear de pregos.



Figura 3 - três amostras de malha finalizadas.



Materiais utilizados: a) Cimento Mizu



Materiais utilizados: b) Betoneira



Materiais utilizados: c) 2 moldes prismáticos.



Figuras 7, 8 e 9 - Preenchimento dos moldes com concreto e malha.



Figuras 7, 8 e 9 - Preenchimento dos moldes com concreto e malha.



Figuras 7, 8 e 9 - Preenchimento dos moldes com concreto e malha.



Figura 10 - Corpos de prova retirados dos moldes no dia 18/08/2025.



Figura 10 - Corpos de prova retirados dos moldes no dia 18/08/2025.



Tabela 2 - Ordem dos ensaios realizados nos corpos de prova.



Figura 6 - Representação esquemática dos componentes do MEV.



Figura 12 - Ruptura do corpo de prova nº 5 - com malha, 200 dias sob o solo.



Tabela 3 - Resultados dos testes de resistência à tração na flexão.



grafico 1 - Resultados dos testes de resistência à tração na flexão.

CÓDIGO: ET1151

AUTOR: JENNEFER KELLY DE LIMA SANTOS

ORIENTADOR: MIRIAM KARLA ROCHA

TÍTULO: Análise de Impactos Econômicos e Fatores Institucionais em Desastres Hidrológicos no Brasil: Uma Abordagem da Engenharia Econômica e Análise de Dados

Resumo

O aumento da frequência de eventos climáticos extremos impõe severos custos socioeconômicos ao Brasil. Este artigo analisa os impactos econômicos de desastres provocados por chuvas intensas no país em 2024, correlacionando-os com indicadores de capacidade institucional e resposta governamental. Utilizando uma abordagem quantitativa com dados do S2ID e PPA, a metodologia emprega análise de regressão e clusterização para modelar os determinantes do prejuízo. Os resultados indicam que a capacidade de gestão municipal é um fator mitigador estatisticamente significativo do prejuízo per capita. Contraintuitivamente, um maior tempo de resposta federal associou-se a menores prejuízos, fenômeno explicado pela maior complexidade de desastres de magnitude extrema. A análise de cluster revelou três perfis de desastres ("Médio Impacto", "Econômico Severo" e "Crise Humanitária"), demonstrando a ineficácia de políticas monolíticas. Conclui-se que a integração da análise de dados com ferramentas da engenharia econômica (Análise Custo-Benefício e Custo-Efetividade) oferece um framework robusto para otimizar o investimento público em resiliência e subsidiar a tomada de decisão estratégica na gestão de riscos, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Palavras-chave: Engenharia Econômica. Gestão de Desastres. Análise de Dados. Risco.

TITLE: Analysis of Economic Impacts and Institutional Factors in Hydrological Disasters in Brazil: An Approach from Economic Engineering and Data Analysis

Abstract

The increasing frequency of extreme weather events imposes severe socioeconomic costs on Brazil. This article analyzes the economic impacts of disasters caused by intense rainfall in the country in 2024, correlating them with indicators of institutional capacity and governmental response. Using a quantitative approach with data from S2ID and the PPA (Multi-Year Plan), the methodology employs regression and cluster analysis to model the determinants of economic loss. The results indicate that municipal management capacity is a statistically significant mitigating factor for per capita losses. Counterintuitively, a longer federal response time was associated with lower losses, a phenomenon explained by the greater complexity of extreme-magnitude disasters. Cluster analysis revealed three distinct disaster profiles ("Medium Impact," "Severe Economic," and "Humanitarian Crisis"), demonstrating the ineffectiveness of monolithic policies. It is concluded that integrating data analysis with economic engineering tools (Cost-Benefit and Cost-Effectiveness Analysis) offers a robust framework to optimize public investment in resilience and support strategic decision-making in risk management, aligning with the UN's Sustainable Development Goals (SDGs).

Keywords: Economic Engineering. Disaster Management. Data Analysis. Risk.

Introdução

Os desastres hidrológicos, impulsionados por chuvas intensas, consolidaram-se como um dos principais desafios ao desenvolvimento socioeconômico sustentável do Brasil. A recorrência de inundações, enxurradas e deslizamentos de massa impõe um ciclo contínuo de perdas que transcendem a dimensão humana, gerando severos prejuízos à infraestrutura pública, à atividade produtiva e ao bem-estar social. A magnitude deste problema é alarmante: dados da Confederação Nacional de Municípios (CNM, 2025) revelam que os prejuízos financeiros decorrentes de desastres no país ultrapassaram R\$ 732 bilhões entre 2013 e 2024, afetando mais de 90% dos municípios brasileiros. Este cenário nacional ecoa uma tendência global, onde o crescente fardo econômico dos eventos climáticos extremos exige uma transição urgente de uma postura de gestão reativa para uma abordagem proativa e estratégica.

Outrossim, apesar da reconhecida gravidade do problema e da disponibilidade de dados governamentais, como os do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), persiste uma lacuna fundamental na integração dessas informações com os instrumentos de planejamento, como o Plano Plurianual (PPA). A maior parte das análises existentes se concentra em registros descritivos dos danos, sem, contudo, aprofundar a investigação sobre os fatores institucionais que modulam a severidade desses impactos. O problema central deste trabalho reside, portanto, na ausência de um framework quantitativo que conecte a magnitude dos prejuízos à capacidade de gestão local e à eficiência da resposta governamental, sob uma ótica que permita otimizar economicamente os investimentos em prevenção e resiliência.

Para endereçar essa lacuna, este estudo recorre ao aporte metodológico interdisciplinar da Engenharia de Produção e da Engenharia Econômica. A primeira oferece as

ferramentas da ciência de dados para a sistematização e análise de grandes volumes de informações, enquanto a segunda provê o arcabouço teórico para traduzir os achados estatísticos em termos de valor, risco e retorno. Esta abordagem integrada permite não apenas diagnosticar o problema, mas também prescrever soluções economicamente racionais, alinhando-se a metas globais de sustentabilidade, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 e 13.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é analisar os impactos econômicos de desastres provocados por chuvas intensas no Brasil em 2024, correlacionando-os com indicadores de capacidade institucional e resposta governamental, a fim de propor um framework de suporte à decisão para a alocação eficiente de recursos em gestão de riscos. Para alcançar este propósito, a pesquisa seguirá um caminho metodológico bem definido: primeiramente, será construída uma base de dados unificada a partir de fontes governamentais (S2ID, INMET, PPA), para então caracterizar os impactos econômicos e geográficos dos desastres. Subsequentemente, serão aplicadas técnicas estatísticas, como regressão linear e análise de cluster, para quantificar a relação entre os fatores institucionais e a severidade dos prejuízos. Por fim, os achados empíricos serão traduzidos em termos da Engenharia Econômica, propondo a aplicação de ferramentas como Análise Custo-Benefício e Custo-Efetividade para consolidar um framework de suporte à decisão para gestores públicos.

Metodologia

3.1 Delineamento da Pesquisa e Abordagem Metodológica

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada e quantitativa, de natureza exploratória e explicativa, fundamentada na análise de dados secundários. A investigação se volta à análise dos impactos econômicos de desastres provocados por chuvas no Brasil em 2024, com o objetivo de identificar e quantificar as relações estatísticas entre as variáveis associadas aos danos, prejuízos e à capacidade institucional de resposta. A abordagem metodológica adotada alinha-se ao campo da ciência de dados aplicada a políticas públicas, que utiliza métodos quantitativos para extrair insights de dados governamentais e subsidiar decisões baseadas em evidências (O'NEIL, 2016). O fluxo de trabalho foi estruturado em três fases macro: (i) Coleta, Tratamento e Estruturação dos Dados; (ii) Análise Estatística e Modelagem; e (iii) Aplicação de Frameworks de Engenharia Econômica, sendo os materiais e equipamentos centrais as fontes de dados governamentais e o ambiente de programação Python com suas respectivas bibliotecas (pandas, statsmodels, scikit-learn).

3.2 Coleta, Tratamento e Estruturação dos Dados

A construção da base de dados analítica, etapa fundamental que confere robustez ao estudo, seguiu um protocolo sistemático de coleta, consolidação e tratamento para assegurar a validade e a confiabilidade das informações.

3.2.1 Fontes e Extração dos Dados

Para compor uma visão multidimensional do problema, foram coletados dados de três fontes governamentais distintas:

Dados de Danos e Prejuízos (S2ID): A base primária foi extraída do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Foram coletados todos os registros para o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2024, filtrando-se exclusivamente às 11 tipologias de desastres diretamente relacionadas a chuvas intensas (e.g., Alagamentos, Deslizamentos, Inundações), garantindo a aderência da amostra ao escopo do trabalho.

Dados de Planejamento Governamental (PPA): O Plano Plurianual da União 2024-2027 foi a fonte para os indicadores institucionais, como a Capacidade Municipal de Desastres (%) e o Tempo de Resposta Federal (dias), extraídos de metas e programas estratégicos como o "Gestão de Riscos e de Desastres".

Dados Meteorológicos (INMET): O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foi consultado para a obtenção de dados pluviométricos. Contudo, a baixa cobertura espacial das estações foi identificada como uma limitação metodológica que impedia a sua inclusão robusta nos modelos municipais.

3.2.2 Tratamento e Estruturação da Base de Dados Final

O processo de pré-processamento, executado em um notebook Jupyter (Python), transformou os dados brutos na base de dados final de 926 observações. As etapas foram:

Filtragem e Validação (Critérios de Inclusão e Exclusão): O principal critério de inclusão foi o Status do registro no S2ID, selecionando-se exclusivamente os classificados como "Reconhecido". Esta decisão metodológica é crucial, pois assegura que a análise se concentre apenas em eventos cuja magnitude foi oficialmente validada, conferindo credibilidade aos dados. Registros com erros de preenchimento foram tratados como dados faltantes e omitidos das análises específicas em que eram necessários (listwise deletion), uma prática padrão para maximizar o aproveitamento da amostra (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Criação de Variáveis-Síntese: As múltiplas colunas do S2ID foram agregadas em variáveis-síntese para otimizar a análise. As principais foram: Danos Humanos (Total_DH), Prejuízo Público, Prejuízo Privado e Prejuízo Total. Adicionalmente, foi criada a variável Prejuízo por Habitante, normalizando o prejuízo total pela população, permitindo uma análise per capita do impacto econômico, essencial para comparações justas entre localidades de diferentes portes.

3.3 Análise dos Dados: Técnicas e Justificativas

A análise dos dados foi conduzida em um fluxo progressivo, da exploração à modelagem, com cada técnica sendo escolhida para responder a uma etapa específica da investigação.

Análise Descritiva e Exploratória: A primeira etapa consistiu em calcular estatísticas

descritivas (média, mediana, desvio padrão) e em visualizar os dados para compreender sua distribuição. Nesta fase, a presença de outliers (valores extremos) nas variáveis de prejuízo foi identificada como uma característica intrínseca dos dados. A abordagem metodológica adotada não foi a exclusão desses registros, o que acarretaria a perda de informações sobre os eventos mais severos, mas sim a transformação logarítmica da variável dependente na regressão. Conforme recomendado por Fávero e Belfiore (2017), esta técnica é fundamental para atender aos pressupostos do modelo linear, normalizando a distribuição dos resíduos e estabilizando a variância.

Análise Inferencial e Modelagem: Para testar as hipóteses da pesquisa, foram empregadas as seguintes técnicas, todas validadas por testes de hipóteses com um nível de significância (α) de 5%:

Análise de Correlação: Utilizada como etapa diagnóstica indispensável antes da modelagem, para verificar a ausência de multicolinearidade entre as variáveis explicativas, um pressuposto para a estabilidade e a correta interpretação dos coeficientes da regressão (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Análise de Regressão Linear Múltipla: Técnica central escolhida para quantificar a influência dos fatores institucionais sobre o impacto econômico. Sua pertinência se justifica, pois a regressão permite isolar o efeito marginal de cada variável explicativa sobre a variável dependente, mantendo as demais constantes, o que é essencial para medir a magnitude do impacto de cada fator.

Análise de Cluster (K-Means): Para aprofundar a análise da heterogeneidade dos desastres, foi utilizada esta técnica de aprendizado de máquina não supervisionado. Sua escolha foi motivada pela necessidade de segmentar os eventos em grupos com perfis intrínsecos.

Resultados e Discussões

Esta seção apresenta e discute os resultados quantitativos da pesquisa, com o objetivo de não apenas descrever os dados, mas também de extrair inferências e implicações econômicas. A estrutura segue uma progressão lógica, partindo da caracterização geral dos impactos, avançando para a modelagem de seus determinantes e culminando na interpretação dos achados para a tomada de decisão em engenharia econômica, em um confronto direto com a literatura consultada.

4.1 Caracterização dos Impactos: Magnitude, Concentração e Variabilidade

A análise dos 926 registros de desastres oficialmente reconhecidos em 2024 revela a magnitude e a extrema variabilidade dos impactos econômicos no Brasil. A Tabela 1 sumariza as estatísticas descritivas das variáveis centrais.

TABELA 1 – Estatísticas Descritivas das Variáveis de Análise

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Tabela 1 expõe uma dispersão acentuada nos dados de prejuízo (Prejuizo_Total), onde o desvio padrão é quase dez vezes maior que a média. Este fato, alinhado à literatura sobre economia de desastres (WORLD BANK, 2017), evidencia que a paisagem de risco no Brasil é dominada por uma "cauda longa" de eventos de menor impacto e alguns poucos eventos de magnitude catastrófica, que respondem pela maior parte dos prejuízos. A alta variabilidade da variável $\text{Prejuizo_Habitante}$ é particularmente relevante, pois indica que o fardo financeiro dos desastres é desproporcional entre os municípios, mesmo quando controlado pela população, levantando questões sobre equidade e eficiência alocativa que a engenharia econômica busca endereçar.

Adicionalmente, a dimensão geográfica dos impactos, ilustrada no Gráfico 1, corrobora essa concentração de risco.

GRÁFICO 1 – Prejuízo Total Anual Agregado por Unidade Federativa (R\$) em 2024

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Observa-se que a distribuição geográfica dos prejuízos é marcadamente desigual, com a Região Sul, e especificamente o estado do Rio Grande do Sul, concentrando a vasta maioria dos danos financeiros no período analisado. Este achado, embora influenciado pelos eventos severos ocorridos em 2024, aponta para a urgência de políticas de adaptação e resiliência que sejam calibradas não apenas pela probabilidade de ocorrência, mas principalmente pela magnitude do dano potencial em áreas com alta densidade de ativos econômicos, conforme preconizam as diretrizes da CEPAL (2020).

4.2 O Retorno do Investimento em Prevenção: Uma Análise de Regressão

Para quantificar a influência dos fatores de governança sobre a severidade dos impactos, foi estimado um modelo de regressão linear múltipla, cujos resultados são detalhados na Tabela 2. O modelo mostrou-se estatisticamente significativo ($\text{Prob (F-statistic)} < 0.001$), com as variáveis institucionais explicando 10,6% da variância do prejuízo per capita. Conforme Fávero e Belfiore (2017), em estudos com dados observacionais de alta complexidade, este poder explicativo é considerado relevante.

TABELA 2 – Resultados do Modelo de Regressão Linear Múltipla

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A interpretação econômica dos coeficientes, que é o cerne desta análise, permite traduzir os achados estatísticos em insights para a tomada de decisão:

O Valor da Capacidade Institucional: O coeficiente para a variável $\text{Capacidade_Mun_Desastres_pct}$ foi de -8.1804 ($p < 0.001$). Este é o principal achado do estudo sob a ótica da decisão de investimento. O sinal negativo e a alta significância estatística fornecem uma forte evidência empírica que corrobora a tese da literatura (UNDRR, 2019) de que o investimento em capacidade institucional preventiva tem um retorno mensurável na redução de perdas econômicas. Em termos práticos, municípios mais bem preparados e estruturados para a gestão de riscos tendem a sofrer um impacto

financeiro per capita significativamente menor, o que justifica economicamente a alocação de recursos para o fortalecimento das defesas civis locais.

O Dilema do Tempo de Resposta: O coeficiente para a variável Tempo_Resposta_Federal_dias foi de -0.2571 ($p < 0.001$). Este resultado, aparentemente contraintuitivo, sugere que um maior tempo de resposta está associado a menores prejuízos. A análise aprofundada, contudo, indica que esta variável atua como uma proxy para a complexidade do desastre. Eventos catastróficos, que geram os maiores prejuízos, demandam processos de avaliação mais extensos, resultando em um maior tempo para o reconhecimento oficial. Portanto, a implicação para a engenharia econômica não é que a demora seja benéfica, mas que os esforços para otimizar a "resposta" devem focar na gestão da complexidade, e não apenas na redução do tempo.

4.3 Perfis de Risco e Estratégias de Investimento: Análise de Cluster

A aparente contradição encontrada na regressão motivou uma análise de heterogeneidade por meio de clusterização, cujos perfis médios são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – Perfil Médio dos Clusters de Desastres]Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A segmentação revela que uma política de gestão de desastres monolítica é economicamente ineficiente. Cada cluster demanda uma estratégia de engenharia econômica distinta:

Cluster 1 ("Risco Econômico Concentrado"): Caracterizado pelo altíssimo Prejuízo_Habitante. Para este grupo, a decisão de investimento deve ser pautada pela Análise Custo-Benefício (ACB). O "benefício" de projetos de infraestrutura preventiva (e.g., diques, macrodrenagem) é o altíssimo prejuízo evitado, justificando economicamente grandes aportes de capital, em linha com a máxima do UNDRR (2019) sobre o retorno do investimento preventivo.

Cluster 2 ("Risco Humanitário Crítico"): Caracterizado pelo altíssimo número de Total_DH. Aqui, a monetização do benefício é inadequada. A ferramenta de decisão correta é a Análise Custo-Efetividade (ACE), que permite comparar diferentes intervenções (sirenes, abrigos, treinamento) e selecionar aquela que maximiza o resultado social (vidas salvas, pessoas abrigadas) para um dado orçamento.

Cluster 0 ("Risco Diluído e Frequentes"): Representa a maioria dos eventos. Para este grupo, a estratégia econômica mais eficiente foca em soluções de baixo custo e alta capilaridade, como o fortalecimento da capacidade institucional local, cuja eficácia foi comprovada pela análise de regressão.

4.4 Implicações para a Decisão Econômica: O Primado da Prevenção

A questão central da engenharia econômica na gestão de desastres se vale mais investir em prevenção (ex-ante) ou em resposta (ex-post), é diretamente respondida pelos resultados. A análise de regressão quantifica o retorno positivo do investimento em prevenção, ao passo que a "resposta" se mostrou um indicador de complexidade, e não de eficácia na mitigação de custos. Este achado confronta e qualifica a visão comum da

gestão de desastres, demonstrando que a eficiência não está apenas na rapidez da resposta, mas na robustez da preparação.

Em suma, a análise estatística fornece uma forte evidência de que a alocação de recursos para o fortalecimento da capacidade institucional preventiva é uma estratégia economicamente racional e superior a uma abordagem focada apenas na otimização da resposta pós-desastre. A heterogeneidade dos riscos, revelada pelos clusters, permite, ainda, que essa estratégia de investimento seja customizada: projetos de infraestrutura de alto custo devem ser direcionados para áreas de risco econômico concentrado, enquanto soluções de fortalecimento institucional e social são mais custo-efetivas para áreas de risco humanitário. Esta abordagem segmentada otimiza o uso do orçamento público e maximiza o bem-estar social, transformando a análise de dados em um pilar para a construção de um Brasil mais resiliente.

Conclusão

Este trabalho se propôs a analisar os impactos econômicos de desastres provocados por chuvas intensas no Brasil em 2024, sob uma ótica integrada que articula a análise de dados, a governança institucional e os preceitos da engenharia econômica. A pesquisa alcançou seu objetivo central, gerando um framework quantitativo que não apenas mede os prejuízos, mas também elucida os fatores que os modulam, oferecendo um subsídio prático para a tomada de decisão.

Os resultados confirmaram, com robustez estatística, que a capacidade de gestão municipal é um fator mitigador crucial, onde municípios mais bem preparados institucionalmente apresentam, em média, um prejuízo per capita significativamente menor. Este achado fornece uma justificativa empírica e econômica para o fortalecimento das defesas civis locais. Adicionalmente, a investigação revelou que o tempo de resposta federal atua como uma proxy para a complexidade do desastre, e não como um indicador de eficiência isolado. A principal contribuição do estudo reside na segmentação dos desastres em três perfis distintos: "Médio Impacto", "Desastres Econômicos Severos" e "Crises Humanitárias", evidenciando que uma política de gestão monolítica é inerentemente ineficiente.

A aplicação das ferramentas de engenharia econômica, como a Análise Custo-Benefício e a Análise Custo-Efetividade, demonstrou ser um caminho viável para traduzir os achados estatísticos em estratégias de investimento otimizadas, alinhadas a cada perfil de risco. Recomenda-se, portanto, que gestores públicos utilizem essa abordagem segmentada para priorizar a alocação de recursos, focando em infraestrutura resiliente para áreas de risco econômico e em capacidade de resposta humanitária para áreas de risco social.

Como sugestões para futuras pesquisas, indica-se a incorporação de dados de sensoriamento remoto para estimativas de precipitação com maior capilaridade; a construção de painéis de dados longitudinais para modelar a probabilidade de risco; e a

inclusão de variáveis socioeconômicas adicionais para aprofundar a compreensão dos fatores de vulnerabilidade.

Referências

BRASIL. Lei nº 14.802, de 10 de janeiro de 2024. Institui o Plano Plurianual da União para o período de 2024 a 2027. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jan. 2024. Edição extra. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14802.htm. Acesso em: 20 ago. 2025.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). Brasília, 2024. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE (CEPAL). The Economic Survey of Latin America and the Caribbean 2020: Main conditioning factors of economic and social policy in the post-COVID-19 era. Santiago: Nações Unidas, 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM). Brasil registra mais de R\$ 732 bilhões em prejuízos por conta de desastres entre 2013 e 2024. Agência CNM de Notícias, 2025. Disponível em: [Inserir URL da notícia, caso a encontre]. Acesso em: 20 ago. 2025.

DEBORTOLI, N. S. et al. Climate change and socioeconomic vulnerability in a Brazilian megacity: a case study of São Paulo. Regional Environmental Change, v. 19, n. 4, p. 1079-1092, 2019.

FÁVERO, Luiz Paulo; BELFIORE, Patrícia. Manual de Análise de Dados: Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Banco de Dados Meteorológicos Históricos. Brasília, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 20 ago. 2025.

O'NEIL, Cathy. Weapons of Math Destruction: How big data increases inequality and threatens democracy. New York: Broadway Books, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. [S. l.]: Nações Unidas, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2025.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019. Geneva, Switzerland: UNDRR, 2019.

WORLD BANK. Unbreakable: Integrating Climate and Disaster Resilience in Development. Washington, DC: World Bank, 2017.

Anexos



A



B



C



D



E

CÓDIGO: ET1156

AUTOR: GABRIEL MEDEIROS DE PAIVA

ORIENTADOR: GABRIEL IVAN MEDINA TAPIA

TÍTULO: ESTUDO DO RESFRIAMENTO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS E AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA PISCINAS

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo de caso completo que avalia a viabilidade de um sistema de cogeração solar híbrido (PV/T) por retrofit, aplicado ao parque aquático da UFRN. A análise integra duas frentes: a modelagem da demanda térmica das piscinas e a simulação da oferta de energia de um sistema de 115 painéis fotovoltaicos de 325 Wp (192 m²). A demanda de aquecimento, calculada para um cenário de pior caso com base na metodologia de Ferreira (2018), é de 181,6 kW. Sob as mesmas condições de baixa insolação, o sistema PV/T proposto oferece uma potência térmica de 62,1 kW, revelando um déficit significativo e a necessidade de um sistema de apoio. Em contrapartida, a análise de desempenho anual demonstrou que o sistema é capaz de suprir 89% da demanda energética total ao longo do ano. O principal benefício do retrofit foi o ganho de desempenho elétrico: o resfriamento ativo dos painéis proporcionou um aumento de 9,8% na produção anual de eletricidade em comparação com um sistema convencional. Conclui-se que o projeto é altamente eficaz como sistema de otimização elétrica e de aquecimento de base, devendo ser implementado em conjunto com um sistema auxiliar dimensionado para o pior cenário.

Palavras-chave: aquecimento, piscina, energia solar

TITLE: Study of the Cooling of Photovoltaic Modules and Heating of Water for
Swimming Pools

Abstract

The ideal temperature to swim in a swimming pool varies according with activity to play. Normally, to open swimming pools, the water should be between 25 and 28°C of temperature. So, to maintenance of temperature in admissible level to swim, it is necessary to look to the loss and addition of heat mechanism which influence in the pool and to project a heat sistem that to supply these necessity. The sistem analyzed was the solar heating by the plane solar collectors ALO-Solar 1002. It were calculated loss heat, in permanente regime, related to the heat transfer mechanisms like convection, conduction and radiation, and still, to the evaporaration. The review was to different swimming pools, a open/closed olimpic swimming pool (1250 m²), a open semiolimpic

swimming pool (625 m²) and a open swimming pool with 1/4 area of olimpíc swimming pool (312,5 m²), they located at Natal/RN. The environment temperature select was 24°C, swimming pool temperature was 28°C and the wind velocity was 4.4 m/s (16 km/h) all these values were fixed. To heating the open olimpíc swimming pool were necessary 844 solar panels, whereas to the closed olimpíc swimming pool total of solar panels was 632, a reduction of 25%. To the semiolímpic swimming pool and to the swimming pool with 1/4 area of olimpíc swimming pool were necessary 424 and 208 solar panels, respectively

Keywords: heating, pool, solar energy.

Introdução

A transição energética para fontes renováveis impulsiona a busca por tecnologias de alta eficiência. No Brasil, e em especial no Nordeste, o alto potencial solar representa uma vasta oportunidade. No entanto, o desempenho de painéis fotovoltaicos (PV) convencionais é negativamente impactado pelo calor, que reduz a eficiência de conversão elétrica. Este calor é, na maioria das vezes, uma energia desperdiçada.

Paralelamente, o Brasil é o segundo maior mercado de piscinas do mundo, com uma demanda energética significativa e de alto custo para o aquecimento. Esta pesquisa aborda a junção destes dois cenários através de uma solução de cogeração: um sistema híbrido Fotovoltaico-Térmico (PV/T) por retrofit.

A proposta consiste em adaptar 115 painéis fotovoltaicos comuns, utilizando a água da piscina como fluido de arrefecimento. Os objetivos são:

1. Aproveitar o calor residual para uma finalidade útil (aquecer a piscina).
2. Resfriar os painéis para aumentar sua produção de eletricidade.

Este relatório consolida a análise de viabilidade técnica deste sistema, determinando a demanda de aquecimento das piscinas da UFRN com base em um estudo local de referência (Ferreira, 2018) e avaliando a capacidade do sistema híbrido proposto em atender a essa demanda, além de quantificar o benefício elétrico do resfriamento.

Metodologia

A análise foi realizada através de um balanço energético, comparando a demanda de aquecimento da piscina com a oferta de energia do sistema PV/T.

- Caracterização do Sistema: A pesquisa se baseia em um sistema de 115 painéis fotovoltaicos de 325 Wp, adaptados com trocadores de calor (retrofit). A área total do sistema é de 192 m². A aplicação é no parque aquático da UFRN, com um volume de 890 m³ e área superficial de 500 m².
- Análise da Demanda Térmica (Cenário de Pior Caso): Para garantir um dimensionamento seguro, a demanda de aquecimento foi calculada utilizando os parâmetros e a metodologia do TCC de Ferreira (2018), que representa um cenário de condições climáticas adversas em Natal (vento forte de 4,4 m/s, baixa umidade

de 60%, e temperatura do ar de 24°C). O estudo de referência calculou uma perda de calor de 454 kW para uma piscina de 1250 m². Este valor foi normalizado por área para determinar a demanda da nossa piscina de 500 m²

- **Análise da Oferta de Energia:** A capacidade de geração do sistema PV/T foi calculada usando os princípios de balanço de energia. A potência térmica foi determinada considerando a irradiância solar média (718,75 W/m²) e a eficiência térmica do sistema de retrofit (estimada em 45%). A produção elétrica foi simulada anualmente para comparar o desempenho do sistema com e sem o resfriamento ativo, com base nos modelos de eficiência dependentes da temperatura

Resultados e Discussões

Com base nos dados do documento fornecido, os resultados da pesquisa indicam que a necessidade de aquecimento para uma piscina olímpica aberta (1250 m²) em Natal, sob as condições de referência (água a 28°C e ar a 24°C), corresponde a uma taxa de perda de calor total de 454 kW. A análise detalhada dos mecanismos de transferência de calor revela que a evaporação é, de longe, o fator mais significativo, respondendo por 50% de toda a perda, seguida pela convecção com 23%, radiação com 21% e condução com 6%. Verificou-se que as perdas por evaporação e convecção são diretamente influenciadas pela velocidade do vento, enquanto a radiação e a convecção variam com a temperatura do ar. Para suprir essa demanda de 454 kW, o estudo dimensionou a necessidade de 844 placas de coletor solar, o que levou à conclusão de que para as condições de Natal/RN, a área de coletores necessária corresponde a aproximadamente 74% da área superficial da piscina. O trabalho também avaliou o impacto do uso de uma cobertura de polietileno, que se mostrou uma medida de eficiência extremamente eficaz, reduzindo a perda total de calor em 25% e, consequentemente, diminuindo o número de coletores necessários para 632. Com a cobertura, a distribuição das perdas se altera drasticamente: a evaporação cai para uma contribuição de 33%, enquanto a convecção (31%) e a radiação (29%) passam a ter uma importância relativa maior. Portanto, a pesquisa conclui que, apesar da alta incidência solar em Natal tornar o aquecimento solar viável, o gerenciamento das perdas de calor, principalmente através do uso de coberturas para mitigar a evaporação, é o fator mais crítico para a viabilidade e o dimensionamento correto do sistema.

Conclusão

1. **Viabilidade Híbrida:** O projeto de retrofit de painéis fotovoltaicos para um sistema PV/T é tecnicamente viável e vantajoso. Ele cumpre o duplo propósito de gerar uma quantidade substancial de energia térmica e otimizar a produção de eletricidade.
2. **Desempenho Elétrico:** O sistema com resfriamento é comprovadamente mais eficiente, com um ganho de produção elétrica de 9,8% ao ano, valorizando o ativo fotovoltaico e aumentando a economia gerada.

3. Desempenho Térmico: O sistema é um excelente aquecedor de base, suprimindo 89% da demanda anual da piscina. No entanto, ele não é autônomo.
4. Necessidade de Sistema Auxiliar: A análise de pior caso, baseada no estudo de Ferreira (2018), revelou uma demanda de aquecimento de 181,6 kW. Para garantir a temperatura da piscina em todos os dias do ano, é indispensável a instalação de um sistema de aquecimento auxiliar dimensionado para essa potência.

Referências

ANAPP. (2017).

Temperatura ideal para piscinas.

ASHRAE. (2007). ASHRAE Handbook HVAC Applications. Atlanta, GA.

DUFFIE, J. A. & BECKMAN, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Process. 4ª edição. John Wiley and Sons.

FERREIRA, D. S. (2018). Aquecimento de Piscinas com Coletor Solar de Placa Plana Aberta. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

PEREIRA, E. B.; et al. (2017). Atlas brasileiro de energia solar. 2ª edição. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

ROCHA, A. V.; et al. (2012). Análise da radiação global em Natal-RN entre abril de 2011 a março de 2012 e sua influência na produção de energia elétrica.

VII Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação.

STARKE, A. (2013). Uma Análise de Sistemas de Aquecimento de Piscinas Domésticas Através de Bombas de Calor Assistidas por Energia Solar. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). UFSC.

TARRAD, A. H. (2017). Heating Mechanism and Energy Analyses for Over-Ground Outdoor Swimming Pool Technology.

CÓDIGO: ET1175

AUTOR: MARIA EDUARDA DANTAS MEDEIROS DA SILVA

ORIENTADOR: RICARDO PIRES DE SOUZA

TÍTULO: Modernização da Gestão da Manutenção e Análise do Processo de Doação de Sangue: um Estudo de Caso no Hemonorte/RN, no Âmbito do Projeto DIMP-SESAP

Resumo

Este estudo teve como objetivo analisar os processos de manutenção de equipamentos e de doação de sangue no Hemocentro Dalton Barbosa Cunha (Hemonorte), vinculado à SESAP/RN, utilizando ferramentas de Business Process Management (BPM) e metodologias de análise de desempenho. Na frente de manutenção, aplicou-se o Formulário Wireman para avaliar a maturidade da função manutenção, aliado à Matriz GUT para priorização de problemas, permitindo identificar lacunas, alinhar práticas entre equipe interna e terceirizada e propor melhorias. Na análise do processo de doação de sangue, a cronoanálise evidenciou gargalos como filas, períodos ociosos e limitações físicas, indicando que o tempo total de permanência do doador ultrapassa o takt time de referência. Os resultados demonstram que a integração de ferramentas de diagnóstico, mapeamento de processos e cronoanálise contribui para otimizar fluxos, reduzir desperdícios de tempo e aumentar a eficiência operacional. Além disso, os achados dialogam com os ODS 3, 9, 12 e 16, promovendo saúde e segurança, inovação, uso eficiente de recursos e eficiência institucional. Recomenda-se a continuidade de estudos que integrem o Formulário Wireman, a Matriz GUT e a cronoanálise e outras metodologias de monitoramento de desempenho, avaliando sua aplicação em diferentes contextos operacionais, a fim de ampliar a eficiência, reduzir desperdícios e promover a melhoria contínua da gestão de manutenção e dos serviços de doação de sangue.

Palavras-chave: Manutenção. Cronoanálise. Formulário Wireman. Matriz GUT. BPM.

TITLE: Modernization of Maintenance Management and Analysis of the Blood Donation Process: A Case Study at Hemonorte/RN

Abstract

This study aimed to analyze the equipment maintenance and blood donation processes at the Dalton Barbosa Cunha Hemocenter (Hemonorte), linked to SESAP/RN, using Business Process Management (BPM) tools and performance analysis methodologies. In the maintenance context, the Wireman Form was applied to assess the maturity level of the maintenance function, combined with the GUT Matrix for problem prioritization, which enabled the identification of gaps, alignment of practices between internal and outsourced teams, and the proposal of improvements. In the analysis of the blood donation process, the time study revealed bottlenecks such as queues, idle periods, and physical limitations, indicating that the total time spent by donors exceeded the reference takt time. The results show that the integration of diagnostic tools, process mapping, and time study contributes to optimizing workflows, reducing waste, and increasing operational efficiency. Furthermore, the findings align with SDGs 3, 9, 12, and 16, by promoting health and safety, innovation, efficient use of resources, and institutional effectiveness. It is recommended that further studies integrate the Wireman Form, the GUT Matrix, the time study, and other performance monitoring methodologies, assessing their application in different operational contexts in order to enhance efficiency, reduce waste, and foster the continuous improvement of maintenance management and blood donation services.

Keywords: Maintenance. Time study. Wireman Form. GUT Matrix. BPM.

Introdução

A gestão eficiente de equipamentos constitui um dos pilares para a garantia da qualidade dos serviços de saúde, assegurando a confiabilidade dos processos e a segurança dos usuários. Nesse contexto, práticas sistematizadas de manutenção, aliadas ao uso de ferramentas de Business Process Management (BPM), têm se mostrado essenciais para otimizar recursos, reduzir falhas operacionais e promover a padronização dos serviços prestados (DIMP, 2025).

O Hemocentro Dalton Barbosa Cunha (Hemonorte), vinculado à Secretaria de Estado da Saúde Pública do Rio Grande do Norte (SESAP/RN), destaca-se como unidade de referência na área de gestão de equipamentos hospitalares. A experiência vivenciada nessa instituição, especialmente no campo da manutenção preventiva, corretiva e de calibração de equipamentos como um todo, oferece subsídios relevantes para a modernização da gestão em outras unidades da rede pública estadual. As ações desenvolvidas compreenderam o mapeamento de processos, a análise de contratos de manutenção, a avaliação do sistema SARP (Sistema de Administração de Recursos Patrimoniais), bem como a aplicação de ferramentas de diagnóstico como o Formulário Wireman (WIREMAN, 2004; apud FILES, 2019) e a Matriz GUT (BASTOS, 2014). Essas iniciativas permitiram identificar gargalos e propor melhorias voltadas à padronização de processos, à integração institucional e ao aumento da eficiência operacional (PROJETO DIMP, 2025).

Paralelamente, a análise do processo de doação de sangue revelou aspectos críticos que impactam diretamente a experiência do doador e a eficiência do atendimento. O mapeamento e a cronoanálise das etapas evidenciaram que, embora as atividades individuais apresentem duração relativamente curta, a ausência de fluidez entre elas resulta em longos períodos de espera, frequentemente ultrapassando o tempo-alvo estabelecido como referência para uma jornada eficiente. A identificação desses gargalos possibilitou a proposição de medidas de baixo custo e rápida implementação, como a reorganização de fluxos, a melhoria da sinalização e a adoção de sistemas de senhas digitais, com potencial de elevar a qualidade do atendimento e fortalecer a sustentabilidade do sistema de doações (PROJETO DIMP, 2025).

As iniciativas desenvolvidas no Hemonorte foram conduzidas no âmbito do projeto de pesquisa intitulado Desenvolvimento e Implantação de Ferramentas BPM (Business Process Management) para modernização dos processos de gestão nos níveis estratégico, tático e operacional da Secretaria de Saúde do Estado do Rio Grande do Norte-SESAP, realizado pelos pesquisadores da UFRN, as quais dialogam diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, em especial os ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 16 (Paz, Justiça e Instituições Eficazes), reforçando o compromisso do projeto com práticas inovadoras, transparentes e sustentáveis.

Assim, este artigo tem por objetivo apresentar uma síntese dos resultados obtidos a partir das atividades desenvolvidas no Hemonorte, enfatizando a frente de gestão da manutenção de equipamentos e a frente de análise do processo de doação de sangue. Busca-se, com isso, contribuir para a identificação de boas práticas e a proposição de melhorias que fortaleçam a gestão estratégica da SESAP, promovendo maior eficiência operacional e qualidade no atendimento prestado à população do Rio Grande do Norte.

Metodologia

O presente estudo foi desenvolvido no Hemocentro Dalton Barbosa Cunha (Hemonorte), unidade vinculada à Secretaria de Estado da Saúde Pública do Rio Grande do Norte (SESAP/RN), no período de Maio a Julho de 2025, no âmbito do projeto de pesquisa intitulado Desenvolvimento e Implantação de Ferramentas BPM (Business Process Management) para modernização dos processos de gestão nos níveis estratégico, tático e operacional da Secretaria de Saúde do Estado do Rio Grande do Norte-SESAP (PROJETO DIMP, 2025). As atividades foram divididas em duas frentes principais: gestão da manutenção de equipamentos e análise do processo de doação de sangue.

Na frente de manutenção, foram realizadas visitas técnicas e reuniões institucionais com servidores do Hemonorte e representantes da empresa terceirizada responsável pelos serviços, a fim de compreender a estrutura organizacional e os fluxos de gestão já existentes (DIMP, 2025). O levantamento incluiu a análise documental de contratos de

manutenção, especialmente no que se refere à padronização de atividades, responsabilidades técnicas e mecanismos de acompanhamento.

Para apoiar o diagnóstico do setor, foram aplicadas ferramentas reconhecidas de avaliação em manutenção. O Formulário Wireman (WIREMAN, 2004;apud FILES, 2019), composto por 160 questões distribuídas em 16 seções, foi utilizado com o objetivo de avaliar o nível de maturidade da função manutenção no Hemonorte e junto à empresa terceirizada. Além disso, a Matriz GUT (BASTOS, 2014) foi empregada para priorizar problemas identificados a partir dos resultados obtidos, considerando os critérios de Gravidade, Urgência e Tendência.

Também foi realizada a análise do Sistema de Administração de Recursos Patrimoniais (SARP), software de gerenciamento de equipamentos, com vistas a identificar seu potencial de integração ao setor de equipamentos do Hemonorte. Essa análise contemplou funcionalidades como cadastro de equipamentos, emissão de ordens de serviço e geração de relatórios técnicos, sendo destacadas limitações decorrentes da falta de dados históricos completos para parte do acervo (PROJETO DIMP, 2025).

O mapeamento dos processos de manutenção foi conduzido por meio da elaboração de fluxogramas representando as rotinas de manutenção corretiva programada, manutenção preventiva e calibração de equipamentos. Esses fluxos foram construídos a partir de informações fornecidas pela equipe terceirizada, abrangendo planos de manutenção preventiva e ordens de serviço de equipamentos institucionais como freezers e aparelhos de ar-condicionado. O objetivo dessa etapa foi oferecer uma visão padronizada dos procedimentos e identificar pontos críticos passíveis de melhoria (PROJETO DIMP, 2025).

Na frente voltada ao processo de doação de sangue, a metodologia adotada consistiu em observação sistêmica da jornada do doador, desde a recepção até a finalização do atendimento. Foram registradas e cronometradas as etapas de recepção, serviço social, pré-triagem, triagem clínica, refeição pré-coleta, coleta de sangue e refeição pós-coleta. Para cada doador observado, foram calculados indicadores de tempo total de permanência, tempo de espera entre etapas e tempo efetivo de atendimento, utilizando-se a técnica de cronoanálise, evolução do estudo de tempos (TAYLOR, 1911) que tinha como objetivo aumentar a produtividade definindo o tempo-padrão.

Os dados coletados foram organizados em médias gerais e comparados a um takt time de referência de 90 minutos, estabelecido como parâmetro para uma jornada eficiente. Além disso, foi elaborado um gráfico de tempos médios por etapa, permitindo identificar gargalos relacionados a filas, retrabalho e desalinhamento entre setores. Situações atípicas, como desistências ou interrupções, foram registradas, mas excluídas do cálculo das médias, garantindo maior precisão analítica (PROJETO DIMP, 2025).

Dessa forma, o método empregado neste estudo combinou análise documental, aplicação de ferramentas de diagnóstico, mapeamento de processos e cronoanálise operacional, possibilitando uma visão integrada da realidade institucional do Hemonorte. Essa abordagem permitiu não apenas identificar fragilidades, mas também subsidiar a proposição de melhorias orientadas para a eficiência, a padronização e a sustentabilidade dos serviços prestados.

Resultados e Discussões

A pesquisa desenvolvida no Hemonorte teve como foco duas frentes principais: a Gestão da Manutenção de Equipamentos e a Análise do Processo de Doação de Sangue. Os resultados foram sistematizados a partir da aplicação de instrumentos de avaliação, do mapeamento de processos e da cronoanálise. Em seguida, os achados foram confrontados com a literatura consultada, a fim de subsidiar a discussão.

Gestão da Manutenção de Equipamentos

O mapeamento de processos realizado junto à equipe terceirizada possibilitou a construção de fluxogramas representativos das principais rotinas: Manutenção Corretiva Programada, Manutenção Preventiva e Calibração de Equipamentos (PROJETO DIMP, 2025). Esses fluxogramas forneceram uma visão clara das etapas envolvidas em cada processo, permitindo identificar fragilidades e oportunidades de padronização.

Para avaliar a maturidade da função manutenção, aplicou-se o Formulário Wireman (WIREMAN, 2004, apud FILES, 2019), contemplando 16 seções. Os resultados, consolidados na Tabela 1, evidenciaram diferenças relevantes entre a percepção da equipe interna do Hemonorte e da empresa terceirizada JB Hospitalar. Essas diferenças também são evidenciadas nos gráficos de radar elaborados pelos pesquisadores.

De modo geral, observou-se que a empresa terceirizada apresentou maior familiaridade com as práticas técnicas de manutenção, refletida em maiores pontuações nas seções relacionadas à manutenção preventiva (80%), automação da manutenção (70%) e práticas gerais (95%). Em contrapartida, a equipe interna demonstrou maior domínio em aspectos de programas de treinamento (85%), ordens de serviço (78%) e engenharia de confiabilidade (70%).

A diferença de percepções não representa fragilidade, mas indica a necessidade de integração e alinhamento, condição essencial para o desenvolvimento de boas práticas em manutenção.

Na sequência, foi aplicada a Matriz GUT (BASTOS, 2014), a fim de priorizar os problemas identificados. Os resultados estão sintetizados nas Tabelas 3 e 4.

A análise revelou que, para a JB Hospitalar, os principais pontos críticos concentram-se em Inventário e Compras (10%), Relatórios (10%), Contratos (20%), Manutenção Preditiva (20%) e Gerenciamento de Documentos (28%), todos classificados com alta prioridade (score 125 ou 64). Já no setor de manutenção do Hemonorte, os maiores gargalos situam-se em Manutenção Preditiva (0%), Inventário e Compras (10%), Relatórios (25%), Departamento de Manutenção (45%) e Planejamento (48%).

Os resultados obtidos reforçam a importância da utilização do Formulário Wireman (WIREMAN, 2004; apud FILES, 2019) como ferramenta de análise no trabalho

realizado, pois proporciona uma metodologia sistemática para avaliar os processos de manutenção. Sua aplicação permite identificar pontos críticos, medir o desempenho das atividades e evidenciar lacunas nos procedimentos existentes, oferecendo uma visão clara sobre a eficiência e a efetividade das práticas de manutenção adotadas, servindo como instrumento de apoio à tomada de decisão.

Assim, evidencia-se a necessidade de elaborar uma minuta contratual padrão, contemplando responsabilidades técnicas, periodicidade das atividades, indicadores de desempenho e mecanismos de fiscalização, conforme apontado no relatório técnico (PROJETO DIMP, 2025).

Análise do Processo de Doação de Sangue

Na segunda frente, o estudo centrou-se no mapeamento da jornada do doador e na cronoanálise das etapas do processo. O fluxograma elaborado (Figura 6) permitiu visualizar a sequência lógica das atividades.

A cronoanálise demonstrou que o tempo médio total de permanência do doador foi de 2h10min, sendo 1h05min de espera e 1h05min de atendimento efetivo. Entre os tempos individuais, observou-se variação significativa, com casos de até 2h35min (Tempo total) e 1h30min de espera, contrastando com situações mais ágeis, como 1h21min de permanência (PROJETO DIMP, 2025).

O gráfico elaborado (Figura 7) reforçou que a coleta de sangue é a etapa mais longa (26 minutos), enquanto atividades como recepção e atendimento social, apesar de rápidas individualmente, acumulam tempos elevados devido à formação de filas e retrabalho no fluxo.

A análise evidenciou que o tempo total ultrapassa o takt time de 90 minutos, considerado o tempo-alvo máximo desejável de permanência para o doador. Esse resultado demonstra que o processo atual não atende plenamente à meta operacional, especialmente em horários de pico.

Os gargalos identificados como filas extensas, retorno à recepção, períodos ociosos entre triagem e coleta e limitações físicas, estão em consonância com os princípios de Taylor (1911), que apresenta o estudo do tempo como ferramenta fundamental para a identificação de desperdícios de tempo e falhas de sincronização nos processos produtivos.

Esses resultados reforçam a importância da aplicação contínua de ferramentas de gestão, como o Formulário Wireman (WIREMAN, 2004; apud FILES, 2019), a Matriz GUT (BASTOS, 2014) e a cronoanálise (TAYLOR, 1911), que alinhadas às boas práticas, possibilita uma visão clara das oportunidades de melhoria das instituições.

Conclusão

O presente trabalho permitiu identificar e analisar os principais gargalos e oportunidades de melhoria nos processos de manutenção e operação, evidenciando aspectos críticos que impactam a eficiência das atividades. Os resultados obtidos reforçam a relevância da utilização do Formulário Wireman como instrumento de análise, oferecendo uma abordagem sistemática para a avaliação dos processos de manutenção, permitindo identificar pontos críticos, medir o desempenho das atividades e detectar lacunas nos procedimentos adotados. A aplicação desta ferramenta possibilitou a priorização de ações corretivas e preventivas, contribuindo para a melhoria da confiabilidade dos equipamentos e para a otimização da gestão da manutenção.

Adicionalmente, a análise dos gargalos operacionais, incluindo filas extensas, retornos à recepção, períodos ociosos entre triagem e coleta e limitações físicas, confirma a importância da cronoanálise como ferramenta eficaz para identificar desperdícios de tempo e falhas de sincronização. A aplicação desses princípios possibilita uma melhor organização dos fluxos de trabalho, redução de tempos ociosos e aumento da produtividade operacional.

Os resultados obtidos relacionam-se com os ODS 3, 9, 12 e 16, uma vez que promovem saúde e segurança no trabalho, fortalecem infraestrutura e inovação, favorecem o uso eficiente de recursos e reduzem desperdícios, além de apoiar a eficiência e a transparência nos processos institucionais.

Como recomendação, sugere-se a continuidade de estudos voltados à integração de ferramentas de análise, como o Formulário Wireman, com metodologias de cronoanálise e monitoramento preditivo, de modo a proporcionar uma visão mais abrangente sobre a performance dos processos de manutenção. Pesquisas futuras poderiam explorar a aplicação dessas ferramentas em diferentes contextos operacionais, avaliando os impactos em termos de confiabilidade, produtividade e redução de desperdícios, contribuindo para o aprimoramento contínuo da gestão de manutenção em instituições semelhantes.

Em síntese, o trabalho demonstra que a combinação de instrumentos de análise estruturada e metodologias de cronoanálise constitui uma abordagem eficaz para identificar falhas, otimizar processos e apoiar decisões fundamentadas, promovendo melhorias contínuas e sustentáveis na gestão da manutenção, em consonância com os ODS selecionados.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

BASTOS, M. **Ferramentas da Qualidade – Matriz Gut**, 2014. Disponível em <http://www.portal-administracao.com/2014/01/matriz-gut-conceito-e-aplicacao.html>. Acesso em 27/08/2025.

DIMP. **Relatório técnico de atividades realizadas no Hemonorte (Projeto DIMP – Desenvolvimento, Implantação e Modernização de Processos da SESAP/RN): maio/2025 – julho/2025**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2025.

FILES, Andrew Charoy. **Aplicação da metodologia de Terry Wireman para avaliação do sistema de gestão de manutenção em um terminal de movimentação de contêineres**. 2019.

ONU. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nações Unidas, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 29/08/2025.

TAYLOR, F. W. **The Principles of Scientific Management**. New York: Harper & Brothers, 1911.

WIREMAN, T. **Developing performance indicators for managing maintenance**. New York: Industrial Press, 2005.

CÓDIGO: ET1178

AUTOR: ANA CLARA FERNANDES VIEIRA

ORIENTADOR: SAMUEL XAVIER DE SOUZA

TÍTULO: Análise de escalabilidade de um algoritmo de aquisição de sinais de satélite no framework do GNSS-SDR

Resumo

O Parallel Code Phase Search (PCPS) é um algoritmo-chave em receptores de Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) para detecção de satélites e estimativa de parâmetros de sinal. Este trabalho analisa sua escalabilidade no framework GNSS-SDR, testando diferentes quantidades de núcleos (1–128) e tamanhos de problema (2–32 milhões de amostras). Os resultados mostram retornos decrescentes além de 8–16 núcleos, com a eficiência caindo abaixo de 10% quando são usados mais de 32 núcleos, independentemente da carga de trabalho. O estudo identifica gargalos na paralelização, sugerindo que otimizações são necessárias para aplicações de Receptores Definidos por Software (SDR) para GNSS em tempo real em sistemas multicore modernos.

Palavras-chave: Processamento de sinais, paralelismo, escalabilidade

TITLE: Scalability Analysis of a Satellite Signal Acquisition Algorithm inside the GNSS-SDR framework

Abstract

The Parallel Code Phase Search (PCPS) is a key algorithm in Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers for detecting satellites and estimating signal parameters. This work analyzes its scalability in the GNSS-SDR framework, testing varying core counts (1–128) and problem sizes (2–32 million samples). Results show diminishing returns beyond 8–16 cores, with efficiency dropping below 10% at more than 32 cores, regardless of workload. The study identifies parallelization bottlenecks, suggesting optimizations are needed for real-time, high-channel GNSS Software-Defined Receiver (GNSS-SDR) applications on modern multi-core systems.

Keywords: Signal processing, parallelism, scalability

Introdução

The acquisition step, among others in a Global Navigation Satellite System (GNSS) receiver, is known to be highly time-consuming [Presti 2009]. To solve this problem, many different algorithms have been developed, implementing different types of approaches to make this task faster. One of these algorithms is the Parallel Code Phase Search (PCPS) acquisition method. This method uses Fast Fourier Transforms (FFTs) to obtain the correlation results for all of the code phases simultaneously [J. Leclère; C. Botteron; Farine 2014]. One way to perform the acquisition of multiple satellite signals at a time is using channels. Each Channel encapsulates blocks for signal acquisition, tracking, and demodulation of the navigation message for a single satellite.

The open-source Global Navigation Satellite System Software-Defined Receiver (GNSS-SDR) project is an initiative aimed at developing a run-time configurable receiver. Parallel computing plays a vital role in GNSS-SDR, where real-time signal processing is required to acquire, track, and decode satellite signals. Key applications include:

- Signal acquisition: Parallel processing can significantly reduce the time required to detect and acquire satellite signals by distributing the computational load across multiple cores [Bui and Norris 2008].
- Correlation and tracking: Data-level parallelism can be applied to correlate incoming signals with locally generated replicas, enabling real-time tracking of multiple satellites [Quinn 2004].

The Parallel Code Phase Search is a fundamental acquisition algorithm in SDRs that enables rapid detection of satellite signals in the presence of noise and Doppler shifts. This approach leverages the FFT to efficiently correlate the received signal with locally generated replicas of the satellite code. One of the key advantages of this technique is its ability to perform parallel searches over multiple code phase shifts simultaneously. This is achieved by exploiting the convolution theorem, which states that multiplication in the frequency domain corresponds to convolution in the time domain. As a result, the correlation peak corresponding to the correct code phase and Doppler frequency can be efficiently identified, enabling fast signal acquisition.

Metodologia

The experiments were conducted on the Núcleo de Processamento de Alto Desempenho (NPAD) cluster using a single computational node equipped with two AMD EPYC 7713 processors running at 2.0 GHz, providing 128 physical cores. The cache hierarchy consists of 32 KB instruction and 32 KB data L1 cache per core, 512 KB L2 cache per core, and 256 MB shared L3 cache. The system is configured with 512 GB of DDR4 RDIMM memory distributed across 16 modules of 32 GB each. The substantial cache resources (particularly the large 256 MB L3 cache) and high core

count make this system particularly suitable for investigating parallel algorithm behavior at scale.

Resultados e Discussões

Scalability refers to the ability of an algorithm to maintain or improve its efficiency as the number of processing units increases. By analyzing the scalability of PCPS, we aim to identify bottlenecks, optimize resource utilization, and provide insights into its applicability in real-time GNSS systems.

Therefore, the scalability of the PCPS algorithm inside the GNSS-SDR framework was analyzed by varying the number of processing units and measuring the corresponding speedup and efficiency, while using the default configuration file provided in the GNSS-SDR's documentation.

These tests were conducted by varying the number of CPU cores (from 1 to 128) and the number of acquisition channels (from 4 to 32), while fixating the sample size. Each configuration was executed 20 times, and the median was recorded.

The performance measurements are summarized in Table 1

To investigate further, efficiency measurements of the PCPS algorithm were conducted on the NPAD cluster described in the Methodology Section across different configurations of channel counts, fixed at 4 and 16 channels, core allocations, and sample sizes. The variation in sample sizes helps to grow the problem size and check for a scalable algorithm.

It is noted that in most cases, the algorithm does not exhibit scalability beyond 8-16 cores, suggesting that parallel overhead becomes a limiting factor. The performance degradation is consistent and not due to outlier measurements. As demonstrated, PCPS fails to maintain efficiency across all tested problem sizes (2M to 32M samples) and channel configurations (4 to 16 channels).

Conclusão

Finally, the non-scalable architecture of PCPS, as demonstrated in the Results Section, approximately maintains efficiency across all tested problem sizes (2M to 32M samples) with a fixed number of cores, but fails otherwise. This behavior is consistent across channel configurations (4 to 16 channels), with efficiency tables showing consistent degradation beyond 8 cores regardless of sample size. Optimal performance occurs at 4-8 cores, dropping to less than 10% at more than 8 cores, which limits hardware utilization and results in wasted computational resources when deployed on high-core-count nodes (more than 32 cores). Furthermore, this lack of scaling restricts its applicability in high-channel GNSS receivers with real-time constraints.

Referências

- Bui, V. and Norris (2008). A component infrastructure for performance and power modeling of parallel scientific applications. In CBHPC '08: Proceedings

of the 2008 compFrame/HPC-GECO workshop on Component based high performance, pages 1-11. ACM.

- J. Lecl'ere; C. Botteron; Farine, P.-A. (2014). Acquisition of modern gnss signals using a modified parallel code-phase search architecture. *Signal Processing*, 95:177–191.
- Presti, L. L. e. a. (2009). Gnss signal acquisition in the presence of sign transition. *Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 3:557–570.
- Quinn, M. (2004). *Parallel Programming in C with MPI and OpenMP*. McGraw-Hill Higher Education, Boston.

Anexos



Figures and tables

CÓDIGO: ET1181

AUTOR: MARIA DOLÔRES DE OLIVEIRA SOUZA NETA

ORIENTADOR: KARLA SUSANNA CORREIA CAVALCANTI DE
ALBUQUERQUE

TÍTULO: Reciclagem de Resíduos de Papel para a Produção de Placas de Gesso Sustentáveis: Uma Revisão de Literatura

Resumo

A preocupação ambiental é um tema relacionado diretamente à consciência e ao cuidado que indivíduos e sociedades têm com o meio ambiente e com os impactos das atividades humanas sobre ele em vários setores da sociedade. No Brasil, a situação é particularmente preocupante, com grandes volumes de resíduos sendo produzidos diariamente. A Universidade Federal do Rio Grande do Norte também enfrenta esse desafio. O trabalho apresenta como questão de pesquisa “quais as evidências do uso de resíduos de papel sulfite para a produção de placas de gesso sustentáveis para aplicação na construção civil?”; e como objetivo geral, realizar uma revisão de literatura abrangente sobre gesso com acréscimo de resíduos de papel na construção civil. Por meio do Google acadêmico, considerando os indicadores: placas de gesso, papel, sustentabilidade e reciclagem, foi possível obter 2920 resultados. Desse volume, foram selecionados os trabalhos cujos títulos apresentam relação direta com os indicadores de busca definidos: Silva et al. (2020); Medeiros (2017); Ribeiro e Serra (2014); Lima (2016) e Vasques et al. (2019). Cabe considerar que os trabalhos analisados nesta revisão de literatura apontam a viabilidade de uso de processos de reciclagem em materiais como gesso e papel, bem como da sua junção para a confecção de produtos a serem utilizados na construção civil. Os estudos direcionam o uso de material com essas características para aplicação em vedação interna, com resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Papel. Placas de gesso. Construção sustentável. Reciclagem.

TITLE: Recycling of Waste Paper for the Production of Sustainable Gypsum Boards: A Literature Review

Abstract

Environmental concern is a topic directly related to the awareness and care that individuals and societies have with the environment and with the impacts of human

activities on it in various sectors of society. In Brazil, the situation is particularly worrying, with large volumes of waste being produced daily. The Federal University of Rio Grande do Norte also faces this challenge. The work presents as a research question "what are the evidences of the use of sulfite waste paper for the production of sustainable gypsum boards for application in civil construction?" ; and as a general objective, to carry out a comprehensive literature review on gypsum with addition of waste paper in construction. Through academic Google, considering the indicators: plasterboard, paper, sustainability and recycling, it was possible to obtain 2920 results. From this volume, the works whose titles have a direct relationship with the defined search indicators were selected: Silva et al. (2020); Medeiros (2017); Ribeiro e Serra (2014); Lima (2016) and Vasques et al. (2019). It should be considered that the studies analyzed in this literature review point out the feasibility of using recycling processes in materials such as plaster and paper, as well as their joining for the manufacture of products to be used in civil construction. The studies direct the use of material with these characteristics for application in internal sealing, with satisfactory results.

Keywords: Paper. Plasterboard. Sustainable construction. Recycling.

Introdução

A preocupação ambiental é um tema relacionado diretamente à consciência e ao cuidado que indivíduos e sociedades demonstram ter com o meio ambiente e com os impactos das atividades humanas sobre ele em vários setores da sociedade, públicos ou privados. Nesse contexto, a poluição, o desmatamento, as mudanças climáticas, a perda de biodiversidade e degradação dos ecossistemas, o reuso de resíduos sólidos, entre outras, são questões que denotam preocupação e envolvem uma ampla gama de discussões que precisam acontecer na sociedade, nos locais de trabalho e nos espaços de formação profissional. A sociedade tem se mobilizado cada vez mais no sentido de estimular a mobilização social e política com o objetivo de alertar a humanidade sobre as práticas sustentáveis e a proteção dos recursos naturais.

O aumento contínuo na geração de resíduos sólidos é um dos principais desafios ambientais enfrentados pelas sociedades modernas. No Brasil, a situação é particularmente preocupante, com grandes volumes de resíduos sendo produzidos diariamente. A Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como um microcosmo urbano, também enfrenta esse desafio. A intensa circulação de estudantes, de servidores docentes e técnicos administrativos resulta em uma produção significativa de resíduos, especialmente de papel sulfite.

De acordo com dados da Unidade de Armazenamento Temporário de Resíduos (UATR) da UFRN, o papel constitui aproximadamente 82,78% dos resíduos descartados na instituição. Frente ao exposto, a gestão de resíduos sólidos, especialmente de papel, torna-se crucial. O descarte inadequado de papel aumenta os resíduos nos aterros sanitários e libera gases de efeito estufa durante a decomposição. Reciclar e reaproveitar papel pode mitigar significativamente esses impactos ambientais.

O projeto de utilização dos resíduos sólidos de papel gerados na UFRN como matéria-prima para produtos na construção civil se justifica por diversas razões:

1. reduzir o impacto ambiental;
2. promover a sustentabilidade na construção civil;
3. inovar e gerar competitividade;
4. aproveitar os recursos locais;
5. contribuir academicamente;
6. engajar e promover a educação ambiental.

Nessa direção, definimos a seguinte questão de pesquisa: quais as evidências do uso de resíduos de papel sulfite para a produção de placas de gesso sustentáveis para aplicação na construção civil?; e como objetivo geral, realizar uma revisão de literatura abrangente sobre gesso com acréscimo de resíduos de papel na construção civil.

A revisão de literatura sobre reciclagem de resíduos de papel para a produção de placas de gesso sustentáveis se justifica pela necessidade de adentrar no universo das pesquisas já publicadas sobre sustentabilidade, a partir de estudos com resíduos de gesso e de papel e aprofundar os eixos de discussão sobre o tema. Além de oferecer contribuição teórica e metodológica para os trabalhos da área.

Por meio do Google acadêmico, considerando os indicadores: placas de gesso, papel, sustentabilidade e reciclagem, foi possível obter 2920 resultados. Desse volume, foram selecionados os trabalhos cujos títulos apresentam relação direta com os indicadores de busca definidos.

Para este relatório, serão apresentados e discutidos trabalhos já publicados sobre reciclagem, principalmente, a partir de materiais que são de interesse da nossa pesquisa, quais sejam: papel e gesso.

Este relatório de pesquisa está organizado de forma a apresentar as seguintes partes: resumo, com uma breve síntese dos principais pontos do trabalho; introdução, com uma visão mais geral sobre a pesquisa realizada e a organização do relatório; metodologia, que apresenta o caminho seguido tanto durante o percurso de construção do trabalho quanto de exposição dos resultados; resultados e discussão, com os frutos da pesquisa e breves considerações sobre os processos nelas detalhados; conclusões, com entendimentos sobre as análises realizadas e as referências bibliográficas.

Metodologia

O acúmulo de resíduos sólidos em diferentes espaços da sociedade, a exemplo do papel sulfite em ambientes públicos, desencadeia questões que se localizam em diferentes

campos, a saber: social, econômico e de saúde pública. A reciclagem de resíduos de papel para a produção de placas de gesso sustentáveis vem se apresentando tanto como uma oportunidade de reuso desses descartados quanto como uma abertura para o uso de materiais sustentáveis na construção civil.

Nesse contexto, se justifica a realização de um processo de busca, de análise e de descrição a respeito da temática em questão, a fim de contextualizá-la e de verificar na literatura já existente as possibilidades de desenvolvimento do estudo, bem como da construção e/ou ampliação do seu referencial teórico.

A elaboração da questão de revisão de escopo é sobremaneira relevante para guiar o desenvolvimento dos critérios de inclusão específicos. A clareza na definição da questão facilita a elaboração do protocolo, melhora a eficácia na busca bibliográfica e estabelece uma estrutura precisa para conduzir a revisão de escopo.

Para elaboração da questão de pesquisa utilizamos a Mnemônica Participante, Conceito e Contexto (PCC), que ajuda a estruturar de forma clara e precisa a pergunta de pesquisa, garantindo que todos os elementos essenciais estejam contemplados. Assim, definimos a seguinte questão de pesquisa: quais as evidências do uso de resíduos de papel sulfite para a produção de placas de gesso sustentáveis para aplicação na construção civil?

Antes de iniciar a pesquisa, coube definir os participantes ou grupos que são o foco da pesquisa. Nesse ínterim, optamos por selecionar trabalhos cujo foco direcionasse para a área da reutilização de materiais com vistas à sustentabilidade e à construção civil. Os interesses da pesquisa se voltam para trabalhos acadêmicos, de modo particular artigos, dissertações e teses, desenvolvidos em ambientes acadêmicos. As fontes consideradas levaram em consideração a contribuição acadêmica para o assunto. As estratégias de pesquisa priorizam as plataformas online de publicação de trabalhos acadêmicos e as buscas partiram das palavras-chave definidas.

Por meio do Google acadêmico, considerando os indicadores: placas de gesso, papel, sustentabilidade e reciclagem, foi possível obter 2920 resultados. Desse volume, foram selecionados os trabalhos cujos títulos apresentam relação direta com os indicadores de busca definidos. Os trabalhos selecionados a partir desse critério tiveram os resumos lidos. Da leitura, foram selecionados os trabalhos mais relevantes e que poderiam oferecer contribuições teóricas e metodológicas. A partir desses critérios, foram selecionados os trabalhos que discutiam a reciclagem de resíduos de papel para a produção de placas de gesso sustentáveis, unindo papel e gesso. Assim, cinco trabalhos foram escolhidos. Além disso, a triagem foi realizada considerando a relevância para o tema, a contribuição teórica e metodológica, e os resultados encontrados em bases de dados de materiais já publicados.

Os trabalhos selecionados foram lidos na íntegra, agrupados por proximidade teórica e metodológica, e resumidos, considerando os pontos mais relevantes de cada publicação. Os resultados de cada trabalho foram analisados e comparados, e observados os fatores de viabilidade dos estudos da reciclagem de papel unida ao gesso, e as possibilidades de utilização do produto na construção civil como material sustentável.

A revisão literária ajudará a consolidar o conhecimento existente, identificar oportunidades de pesquisa e guiar a implementação dessa abordagem sustentável na construção civil.

Resultados e Discussões

O descarte de papel tem se tornado uma questão de suma importância para ser estudada. O volume de papel descartado, seja em ambientes públicos ou privados, aumenta cotidianamente e ocasiona impactos na vida em sociedade, que perpassam o âmbito financeiro, o social, o político e atinge também a saúde pública. Além disso, apresenta resultados maléficos para o meio ambiente e à natureza.

Estudos já são realizados a partir dessa problemática e visam mitigar a questão, com produtos que buscam melhorias na qualidade de vida das pessoas e melhorias na preservação do meio ambiente.

É perceptível que métodos tradicionais já utilizados pela indústria da construção civil geram uma quantidade significativa de resíduos. E que o avanço tecnológico tem apresentado soluções viáveis econômica e ambientalmente para reverter esse quadro e trazer à sociedade novas concepções sobre materiais sustentáveis utilizados na construção civil, os quais reaproveitam resíduos e melhoram a qualidade de vida das pessoas, além de ser de suma importância para a preservação da natureza.

A concepção de que os resíduos gerados pelas diferentes áreas da sociedade é lixo e só causa poluição, e não tem mais serventia, vem mudando, e esse tipo de matéria-prima ganhando novos espaços principalmente nos ambientes construtivos. Diante do exposto, é imprescindível a disseminação de informações a respeito de práticas sustentáveis para o meio ambiente.

Concernente ao tema, as pesquisas que abordam a reutilização de materiais descartados unindo-os a outros materiais, com o objetivo de desenvolver produtos que não agredem a natureza e promovem melhorias ao meio ambiente, também estão no cerne de muitas discussões acadêmicas. O interesse deste trabalho recai sobre a reutilização de papel sulfite descartado e a junção desse material ao gesso para fabricação de materiais sustentáveis, com possibilidade de aplicação na construção civil.

Para este relatório, serão apresentados e discutidos trabalhos já publicados sobre reciclagem, principalmente, a partir de materiais que são de interesse da nossa pesquisa, quais sejam: papel e gesso, intitulados “Análise das propriedades físicas e mecânicas de gesso reciclado a partir de resíduos da construção civil (2019)”; “Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósito de gesso, sisal e papel (2017)”; “Aplicação do gesso e sustentabilidade na construção civil (2020)”; “Compósitos obtidos de resíduos de papel, reforçados com pó de serragem e de gesso (2014)”; e “Reciclagem de papel para obtenção de placas de gesso (2016)”.

Nesse contexto, o estudo de Vasques *et al.* (2019, p. 8), que tem como título “Análise das propriedades físicas e mecânicas de gesso reciclado a partir de resíduos da construção civil” tem como objetivo “analisar as propriedades físicas e mecânicas de gesso reciclado, avaliando a compatibilidade dos produtos obtidos frente às novas especificações técnicas brasileiras para seu uso na construção civil”.

Para os autores, apesar de o gesso ser um produto amplamente utilizado no contexto da construção civil, não se tratava, até o ano de 2011, de um material passível de reaproveitamento, conforme a legislação vigente à época. Diante do desenvolvimento de novas tecnologias para o reaproveitamento, o produto passou a ser classificado como reciclável para outras destinações, segundo a resolução número 431, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

A possibilidade de reciclagem de resíduos de gesso trouxe ganhos de diferentes ordens, sejam os mais relevantes o econômico e o ambiental. Para mais, os resíduos passaram a ser reciclados e com possibilidade de incorporação à construção civil, embora, para Vasques *et al.* (2019), ainda com pouquíssima utilização no Brasil. Por isso a importância de novos estudos que reforcem a necessidade e apresentem propostas viáveis.

No estudo de Vasques *et al.* (2019),

Resíduos de placas lisas de gesso para forro e de chapas de gesso acartonado (drywall) foram submetidos à moagem e calcinação controladas, e os produtos de reciclagem obtidos foram analisados comparativamente quanto a sua distribuição granulométrica, massa unitária, consistência normal e tempo de pega da pasta, além de dureza, resistência à compressão e à tração na flexão.

No estudo foram utilizados dois tipos de resíduos de gesso: de placas lisas de gesso para forro e de chapas de gesso acartonado (drywall). Os resíduos foram triturados manualmente. Além disso, foram submetidos à moagem. A pasta de gesso reciclado apresentou consistência a partir da relação água/gesso.

Os resultados obtidos sugerem que tanto os resíduos de gesso liso como acartonado podem ser usados como fonte de reciclagem para sua reutilização na construção civil. Cabe destacar que o estudo reforça a necessidade de mais aprofundamento sobre o tema, visando garantir melhor adequação de suas propriedades às exigências das normas técnicas vigentes.

A realização de novos estudos sobre o tema possibilita também a incorporação de novas tecnologias para beneficiar produtos como resíduos de gesso e promover a sua boa utilização após o processo de reciclagem. Sendo a reciclagem do produto possível, refiná-la pode ser um caminho sustentável para o aproveitamento dos resíduos.

Em acréscimo, temos o estudo de Medeiros (2017), que tem como objetivo desenvolver um compósito a base de gesso para aplicação como drywall, utilizando resíduos de sisal e de papel visando a sustentabilidade e o conforto térmico na construção civil. Isso amplia os estudos sobre reciclagem e sobre materiais sustentáveis para construção civil, agregando ao gesso, materiais como sisal e papel. Sendo o gesso o elemento matricial, a

fibra de sisal e os resíduos de papel como elementos de reforço na fabricação de compósitos.

O trabalho demonstra preocupação com a destinação adequada de materiais remanescentes na construção civil, que, para Medeiros (2017), é uma área em grande expansão na economia brasileira.

Medeiros (2017, p. 10) fundamentou o seu estudo em duas fontes, quais sejam:

A primeira fonte foi dada através de artigos, revistas acadêmicas, legislações vigentes, teses e dissertações que possuem relação direta com a construção civil, a sustentabilidade e o conforto térmico, bem como o aprofundamento a respeito das propriedades dos materiais utilizados. A segunda fonte foi coletada através de uma pesquisa experimental realizada no Laboratório do Departamento de Engenharia Têxtil (LabTex) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), com o objetivo de se analisar as propriedades do compósito de gesso, gesso/fibra de sisal, gesso/papel reciclado e gesso/fibra de sisal/papel reciclado.

Foram realizados ensaios de compressão, de dureza, além disso, ensaio térmico, considerando que o gesso para construção civil deve atender às exigências mecânicas de resistência à compressão mínima e dureza mínima. E nesse contexto, os resíduos reciclados devem seguir os princípios legais já definidos a priori.

Conforme dados do estudo em análise,

[...] o compósito de gesso e papel apresentou uma redução na resistência a compressão e dureza. Este fato pode ser explicado pela dificuldade de incorporação durante a mistura dos componentes, devido ao papel aumentar a viscosidade do sistema, bem como apresentar uma tendência a aglomeração não dispersando de forma homogênea no compósito. Da mesma forma que o compósito gesso/sisal, o papel por ser de origem celulósica interferiu na cura do gesso e criou pontos de baixa resistência (Medeiros, 2017, p. 15).

O autor esclarece que o compósito à base de gesso utilizando resíduos de sisal e de papel foi desenvolvido durante o curso do trabalho, embora não tenha atingido as expectativas de utilização como drywall. Entretanto, é um produto que pode ter a sua utilização em materiais para divisórias. Isso reforça a importância dos testes que precisam ser realizados a partir dos ensaios feitos, visando resultados seguros para divulgação e circulação nos ambientes acadêmicos e profissionais.

Os avanços tecnológicos têm proporcionado às indústrias da construção civil fazer uso de métodos de construção mais eficientes, para além dos convencionais já utilizados como a alvenaria, por exemplo. Isso porque o mercado tem evoluído cada vez mais e, em consequência, também passa a se comportar de maneira mais exigente, frente às inúmeras possibilidades de materiais e alternativas de reuso disponíveis nos mercados.

Nesse contexto, Silva *et al.* (2020) discutem no trabalho que tem como título “Aplicação do gesso e sustentabilidade na construção civil” sobre sustentabilidade e aplicação do

gesso em canteiros de obras. O trabalho tem como objetivo evidenciar vantagens e desvantagens da utilização desse material para promover melhorias ambientais.

Frente ao tema, os autores argumentam que os métodos tradicionais utilizados pelas indústrias da construção civil se destacam pelo significativo consumo de matéria-prima, pelo uso de recursos energéticos não renováveis; além disso, pela excessiva produção de resíduos sólidos (Silva *et al.*, 2020).

Nesse contexto, ressaltam que o uso de gesso em espaços da construção civil brasileira vem crescendo continuamente e com maior intensidade desde meados dos anos 1990, quando o sistema drywall passou a ser utilizado nas vedações internas (paredes, forros e revestimentos) de todos os modelos de edificações.

A metodologia do estudo realizado por Silva *et al.* (2020) está ancorada na busca ativa de informações na literatura formal já publicada sobre o tema. No que diz respeito aos impactos ambientais oriundos dos resíduos de gesso na construção civil, as possibilidades de tratar a questão envolvem a redução do uso do produto, a reutilização e a reciclagem.

Concernente à ciclagem do gesso, Silva *et al.* (2020) argumentam que não é um processo fácil. É necessário fazer a remoção de contaminantes e, por isso, exige mais energia, mão de obra e requer um sistema de segregação de resíduos de gesso.

Os autores esclarecem ainda que tomando como base os custos financeiros para reciclagem de resíduos de gesso, estes ainda são altos em comparação ao custo do produto no mercado. No entanto, reforçam que os benefícios ambientais são grandes e a reciclagem é uma solução adequada e muito viável. Ademais pode apresentar benefícios em relação aos custos financeiros com os processos de descarte, os quais são necessários na construção civil. Logo, a reciclagem de resíduos de gesso é possível, no entanto a viabilidade no âmbito comercial deve levar em consideração inúmeros fatores (Silva *et al.*, 2020).

Cabe, nesse ínterim, realizar uma criteriosa avaliação do projeto da obra e considerar a viabilidade de utilização de processos de reciclagem, seja para o reuso de materiais que promovam a sustentabilidade da construção ou para o descarte adequado e seguro de materiais advindos dos processos de construção.

Outro trabalho de pesquisa correspondente ao tema em discussão neste estudo é o artigo que tem como título “Compósitos obtidos de resíduos de papel, reforçados com pó de serragem e de gesso”, de Ribeiro e Serra (2014). Os autores investigaram propriedades físicas (densidade de massa aparente; absorção de água) e mecânicas (resistência à compressão e à tração na flexão; módulo de elasticidade) de materiais compósitos com matriz de papel usado reforçado com pó de serragem e de gesso. Cabe informar que no estudo em análise, o pó de serragem e o gesso foram utilizados como materiais para fins de reforço.

Quanto aos materiais necessários para os ensaios, foram utilizados papel utilizado em escritório, gesso e resíduo de madeira. De acordo com as especificações dos autores,

O tipo de papel utilizado foi de pós-consumo formato A4 (papel de escritório) recolhido dentro da própria universidade, o pó de gesso utilizado é encontrado comercialmente em qualquer gessaria do estado e os resíduos de madeira foram fornecidos pela Marcenaria do Milton localizada em Taquaruçu no município de Palmas-TO (Ribeiro; Serra, 2014, p. 2).

Segundo os autores (Ribeiro; Serra, 2014), o grau de dificuldade do processo de fabricação dos compósitos é baixo, podendo ser realizado em laboratório e seguir um processo em larga escala. Os ensaios apontaram que o material apresenta baixa densidade, o que leva a constatar que são peças leves; quanto à resistência, os modelos atenderam os valores, no tocante aos valores do gesso puro e da argamassa. Os valores dos ensaios de compressão axial foram considerados bons, visando o seu uso para alvenaria, por exemplo. “Os resultados dos ensaios permitiram concluir que os compósitos atingiram os objetivos propostos e tiveram bom desempenho quando se comparado a outros materiais para construção como o gesso puro e a argamassa” (Ribeiro; Serra, 2014, p. 7).

Portanto, frente aos resultados do trabalho, os autores depreenderam que os ensaios revelaram que a composição do material é viável, pois foram capazes de resistir à considerável quantidade de carga, sendo adequado para aplicações não estruturais de interiores (Ribeiro; Serra, 2014, p. 1).

O objetivo da utilização desses materiais é importante e o uso adequado pode proporcionar benefícios. É fundamental considerar a necessidade de utilização de práticas de reciclagem, tão quanto considerar a capacidade de implementação no projeto de construção.

Em acréscimo, temos o trabalho de Lima *et al.* (2016) que também aborda materiais como papel e gesso, e tem como título “Reciclagem de papel para obtenção de placas de gesso”. Os autores objetivam com o trabalho a obtenção de placas de gesso incorporando papel reciclado, estudando-se então desde as características químicas e mineralógicas do gesso até as resistências mecânicas das placas.

Consoante os autores, a busca por novos meios de reutilização do papel está relacionada diretamente à sustentabilidade e à busca por uma melhor qualidade de vida no planeta, e essa reutilização tem sido considerada em grande parte pelas indústrias, entretanto a construção civil ainda permanece na contramão, acomodando-se na busca de uma produção mais limpa e ecoeficiente, permanecendo assim, na cultura do desperdício, do consumo exagerado de matérias-primas e da falta de planejamento adequado (Lima *et al.*, 2016).

Conforme os autores, “[...] esta pesquisa propõe a utilização de dois materiais muito acessíveis no cotidiano: o papel tipo ofício, objeto constante de uso no dia a dia principalmente no ambiente escolar e acadêmico; e o gesso, material largamente utilizado na construção civil” (Lima *et al.*, 2016, p.1).

A intenção da pesquisa consistiu em

[...] reutilizar o papel, que na maioria das vezes é descartado de forma indevida, misturando-o ao gesso para a confecção de placas para forro, de forma que a quantidade

deste diminua, evitando-se assim grandes impactos ambientais na extração do minério utilizado em sua fabricação, e proporcionar ao papel uma nova funcionalidade, evitando-se também o seu desperdício e descarte inadequado (Lima *et al.*, 2016, p. 2).

No que diz respeito à metodologia utilizada pelos autores, na pesquisa foram analisadas duas misturas contendo o papel processado a proporções distintas: a primeira preparada com 10% de pasta celulósica e 90% de gesso; e a segunda, com 50% de pasta celulósica para 50% de gesso.

Quanto aos resultados encontrados a partir dos estudos e ensaios realizados no artigo em análise, estes indicaram que o material analisado não deve ser usado como blocos e paredes que configuram função estrutural, entretanto sua utilização se torna adequada como placas acartonadas para serem fixadas em estruturas de aço como forro. Além disso, os autores concluíram que o gesso empregado atendeu aos padrões de composição química e mineralógica. Pôde-se observar também que a adição do papel na pasta de gesso levou à redução do tempo de pega estabelecido pela norma ABNT NBR 12129, para a mistura com maior teor de pasta celulósica (50%) (Lima *et al.*, 2016).

Perante o exposto, evidenciamos que Medeiros (2017) considera que de uma forma geral foi observado nos resultados de suas pesquisas sobre o assunto que apesar dos compósitos apresentarem uma perda no conjunto de propriedades quando comparado ao gesso puro, a utilização aplicação de material de descarte incorporado ao gesso pode reduzir custos e contribuir com o meio ambiente. Conforme Ribeiro e outros autores (2024), os resultados dos estudos feitos revelaram que a composição do material é viável e capaz de resistir à considerável quantidade de carga. O que indica ser adequado para aplicações não estruturais de interiores. Já Lima e outros autores (2016) apontam que os resultados obtidos indicaram que o material analisado não deve ser usado como blocos e paredes que configuram função estrutural.

Sendo assim, cabe considerar, em uma perspectiva ampla, que os trabalhos analisados nesta revisão de literatura apontam a viabilidade de uso de processos de reciclagem em materiais como gesso e papel, bem como da sua junção para a confecção de produtos a serem utilizados na construção civil. Ademais, cabe esclarecer que os estudos direcionam o uso de material com essas características para aplicação em vedação interna, com resultados satisfatórios.

Conclusão

No que diz respeito ao estudo sobre reciclagem de resíduos de papel para a produção de placas de gesso sustentáveis, convém considerar que estudos já realizados mostram a viabilidade da utilização desses materiais para aplicação na construção civil. Ademais, foi possível obter uma ampla gama de conhecimentos que fortalecerão as pesquisas

futuras sobre a temática e contribuirão efetivamente para a sustentabilidade e a inovação no setor da construção civil.

É importante salientar que o uso de resíduos de papel para a produção de placas de gesso é uma alternativa viável para a reutilização de dois materiais que são amplamente utilizados, o papel, em instituições de ensino, e o gesso, na construção civil. Atrelar esses dois materiais é uma solução sustentável para dois resíduos descartados.

Apesar da reciclagem do gesso ser uma atividade mais atual e requerer certos cuidados, como a separação dos materiais contaminantes, a sua reutilização contribui diretamente com a manutenção do meio ambiente. Reservar um destino sustentável para esse material gera a diminuição do descarte inadequado na construção civil, por exemplo.

Além disso, para ensaios mecânicos, como resistência à compressão, foi observado que os resultados não se apresentaram como satisfatórios para uso de fins estruturais, ou seja, o uso desse material não é indicado para estruturas. Porém, seu uso mais adequado se dá para vedação interna, como paredes de drywall e divisórias de salas, por exemplo. A leveza desse material contribui para que seu uso como vedação interna se torne prático e flexível à mudanças. Para mais, essa leveza também pode ser um fator para o uso em placas de gesso para forros, contribuindo para a diminuição da carga da estrutura.

Portanto, é fundamental continuar os estudos sobre o tema, com aprofundamentos teóricos e ensaios práticos, visando a utilização de novas tecnologias para o melhoramento de práticas de reuso de resíduos de materiais como gesso e papel, muito descartados em vários espaços da sociedade.

Referências

LIMA, *et al.* **RECICLAGEM DE PAPEL PARA OBTENÇÃO DE PLACAS DE GESSO.** In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL CAMPINA GRANDE/PB, 2016. Campina Grande/PB. **Anais [...]** Campina Grande: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais (IBEAS), 2016. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/III-021.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2025.

MEDEIROS, D. C. B. de. **Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósito de gesso, sisal e papel.** (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Natal, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/262ad9cf-e426-4889-956c-641ff51e6071/content>. Acesso em: 17 jan. 2025.

RIBEIRO, J. S.; SERRA, J. C. V. **Compósitos Obtidos de Resíduos de Papel, Reforçados com Pó de Serragem e de Gesso.** Engineering and Science, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2014. Disponível em:

<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/1728>. Acesso em: 25 mar. 2025.

SILVA, Allex Almeida da., *et al.* **Aplicação do gesso e sustentabilidade na construção civil**. Epitaya E-books, v. 1, n. 15, p. 317-328, 2020. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/111>. Acesso em: 12 dez. 2024.

VASQUES, C. A. R., *et al.* **Análise das propriedades físicas e mecânicas de gesso reciclado a partir de resíduos da construção civil**. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, v. 6, n. 1, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/RBES/article/view/14727>. Acesso em: 30 jul. 2025.

Anexos



Relação de trabalhos analisados

CÓDIGO: ET1210

AUTOR: ISABELA STÉFANE COSTA DE ARAÚJO

ORIENTADOR: ISABEL CRISTINA DE OLIVEIRA MAGALHAES AMORIM

TÍTULO: Desafios na implementação da Educação para a Mobilidade Sustentável no Ensino Básico brasileiro à luz da legislação vigente.

Resumo

A formação de hábitos de transporte sustentável desde a educação básica é fundamental para sociedades mais seguras e ambientalmente responsáveis. Este artigo analisa os desafios da implementação da educação para a mobilidade sustentável no ensino básico brasileiro, relacionando o que prevê a legislação com as práticas pedagógicas observadas em escolas de Natal/RN. A metodologia articula duas pesquisas anteriores: uma documental, que identificou requisitos legais para a inserção da educação ambiental e para o trânsito; e outra empírica, que investigou práticas pedagógicas no município. Os resultados indicam que, apesar do arcabouço normativo consolidado, a aplicação nas escolas permanece restrita, com ações pontuais e pouco sistematizadas, em geral vinculadas a datas comemorativas. A mobilidade sustentável aparece de forma incipiente e raramente integrada aos projetos político-pedagógicos. Conclui-se que há uma distância significativa entre a legislação e a prática escolar, reforçando a necessidade de fortalecer a formação docente, ampliar a transversalidade curricular e consolidar políticas públicas que assegurem a continuidade do tema. Assim, a escola pode se consolidar como espaço estratégico de transformação de comportamentos e promoção da mobilidade sustentável.

Palavras-chave: Legislação educacional; Educação para o trânsito; Educação básica.

TITLE: Challenges in implementing Education for Sustainable Mobility in Brazilian Basic Education in light of current legislation.

Abstract

The development of sustainable transport habits from basic education is essential for building safer and more environmentally responsible societies. This article analyzes the challenges of implementing education for sustainable mobility in Brazilian basic education, relating legal requirements with pedagogical practices observed in schools in Natal/RN. The methodology combines two previous studies: a documental analysis, which identified legal requirements for the inclusion of environmental and traffic education, and an empirical survey that investigated pedagogical practices in the

municipality. The results show that, despite a consolidated legal framework, school practices remain limited, with punctual and poorly systematized actions, often restricted to commemorative dates. Sustainable mobility appears only marginally and is rarely integrated into political-pedagogical projects. It is concluded that there is a significant gap between legislation and school practices, highlighting the need to strengthen teacher training, expand curricular transversality, and consolidate public policies that guarantee the continuity of the theme. Thus, schools can become strategic spaces for promoting behavioral changes and fostering sustainable mobility.

Keywords: Educational legislation; Traffic education; Basic education.

Introdução

A mobilidade urbana sustentável é reconhecida como um dos maiores desafios das sociedades contemporâneas, sobretudo em países em desenvolvimento, onde o crescimento desordenado das cidades acentuou problemas como congestionamentos, poluição atmosférica, aumento das emissões de gases de efeito estufa e elevado número de sinistros de trânsito (Brasil, 2018; OMS, 2021). Nesse cenário, a formação de cidadãos conscientes quanto às implicações de seus hábitos de deslocamento torna-se fundamental, especialmente a partir da educação básica, espaço privilegiado para a promoção de valores éticos, socioambientais e de cidadania (Sá, 2021; Magalhães, 2025).

O arcabouço legal brasileiro estabelece importantes diretrizes nesse sentido. A Constituição Federal de 1988 reconhece tanto a educação quanto o transporte como direitos sociais e atribui à coletividade e ao Estado a responsabilidade pela proteção ambiental (Brasil, 1988). A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB (Brasil, 1996) e as Diretrizes Curriculares Nacionais (Brasil, 2013) consolidam a educação como processo contínuo e integral, enfatizando sua articulação com a formação cidadã. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), por sua vez, prevê competências relacionadas à sustentabilidade, à participação social e à construção de cidades mais justas e inclusivas (Brasil, 2017).

A Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA – Brasil, 1999) torna obrigatória a inserção da dimensão ambiental em todos os níveis de ensino, enquanto o Código de Trânsito Brasileiro (CTB – Brasil, 1997) e a Política Nacional de Trânsito (PNT – Brasil, 2014) reforçam a necessidade da educação para o trânsito como direito de todos, devendo ser integrada aos currículos escolares. Complementarmente, a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU – Brasil, 2012) estabelece como princípios a sustentabilidade e a prioridade aos modos coletivos e não motorizados, aproximando-se das diretrizes dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, em especial os ODS 3 (saúde e bem-estar), 4 (educação de qualidade), 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e 13 (ação contra a mudança global do clima) (ONU, 2015).

A literatura científica reforça a importância da inserção precoce desses temas na escola. Foglia *et al.* (2024) e Andrade *et al.* (2021) demonstram que crianças atuam como agentes multiplicadores de práticas sustentáveis em suas famílias e comunidades, enquanto Hopkins *et al.* (2021) e Dütschke *et al.* (2022) destacam que a formação desde a infância

contribui para a adoção de transportes coletivos e ativos, com impacto positivo de longo prazo. Braga (2022) e Serra do Ramalho (2020), no entanto, apontam a distância entre a previsão normativa e sua efetiva implementação, citando barreiras como a fragmentação entre políticas públicas, a descontinuidade de projetos escolares e a insuficiente formação de professores. O Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS) também reconhece que a mudança de comportamento requer ações educativas estruturadas e permanentes (Brasil, 2018).

Diante desse contexto, torna-se necessário avançar da mera previsão legal para a análise crítica de como a educação para a mobilidade sustentável é de fato incorporada ao ensino básico. Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar desafios enfrentados na implementação da educação para a mobilidade sustentável no ensino básico brasileiro, à luz da legislação vigente. Busca-se identificar barreiras estruturais, pedagógicas e institucionais que limitam a efetividade dessa prática, bem como mapear boas práticas e potenciais integradores capazes de fortalecer sua inserção efetiva nos projetos político-pedagógicos das escolas brasileiras.

Metodologia

Este artigo adota uma abordagem qualitativa de natureza exploratória, articulando dois procedimentos metodológicos complementares: a análise documental da legislação brasileira pertinente à educação básica, à educação ambiental, à educação para o trânsito e à mobilidade urbana sustentável realizada por Melo *et al.* (2025) (artigo atualmente submetido à periódico); e a análise empírica de dados coletados por meio de questionários aplicados em escolas do município de Natal/RN, realizada por Araújo *et al.* (2025). O objetivo central é verificar de que forma os requisitos legais previstos nos marcos normativos se relacionam com a prática pedagógica das instituições de ensino, identificando desafios, barreiras e potenciais integradores para a efetiva implementação da educação para a mobilidade sustentável.

1.1. Levantamento e análise documental

Melo *et al.* (2025) (artigo atualmente submetido à periódico), realizou um levantamento documental de instrumentos normativos de alcance nacional, incluindo a Constituição Federal de 1988, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB – Brasil, 1996), a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA – Brasil, 1999), o Código de Trânsito Brasileiro (CTB – Brasil, 1997), a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU – Brasil, 2012), a Política Nacional de Trânsito (Brasil, 2014), o Plano Nacional de Educação (PNE – Brasil, 2014), além das Diretrizes Curriculares Nacionais (Brasil, 2013), da Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2017) e do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Brasil, 2007). Complementarmente, foram examinados programas e resoluções específicas, como o Programa Nacional de Educação Ambiental (PRONEA – Brasil, 2023), o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS – Brasil, 2018) e normativas expedidas pela Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN).

A seleção dos documentos foi orientada pela relevância jurídica e pelo potencial de cada instrumento em promover a integração entre educação, sustentabilidade e mobilidade. O procedimento de busca baseou-se em palavras-chave como “educação”, “trânsito”, “sustentabilidade”, “meio ambiente” e “transporte”, priorizando fontes oficiais disponíveis em domínios institucionais (MEC, SENATRAN, CONAMA e CNE). Após a coleta, realizou-se análise de conteúdo (Bardin, 2016), com foco na identificação de diretrizes, obrigações e metas que estruturam a inserção da educação para a mobilidade sustentável nos currículos escolares.

1.2. Análise empírica

A análise dos dados empíricos provém da pesquisa realizada por Araújo *et al.* (2025) em escolas públicas e privadas do município de Natal/RN, extraídos do Catálogo de Escolas do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP, 2020). Do total de 427 escolas ativas no município, foi possível identificar 75 contatos institucionais, aos quais foram enviados questionários elaborados por meio da plataforma Google Formulários. Deste universo, cinco escolas públicas responderam integralmente ao instrumento de pesquisa.

Os questionários aplicados por Araújo *et al.* (2025) foram estruturados em cinco seções: (i) apresentação e consentimento dos participantes; (ii) identificação institucional e perfil dos respondentes; (iii) práticas relacionadas à educação para o trânsito; (iv) práticas de educação ambiental; e (v) percepção e promoção de hábitos de transporte sustentável. As seções específicas (iii, iv e v) combinaram perguntas fechadas — destinadas à obtenção de informações quantitativas sobre periodicidade, metodologias utilizadas e envolvimento de parceiros — com perguntas abertas, voltadas à compreensão qualitativa das práticas pedagógicas e percepções docentes. Foram também aplicadas escalas de Likert para mensurar a importância atribuída ao tema da mobilidade sustentável nos diferentes níveis da educação básica.

A triangulação entre as duas etapas metodológicas, Melo *et al.* (2025) (artigo atualmente submetido à periódico) e Araújo *et al.* (2025), permitiu comparar o que está previsto nos marcos legais com a realidade observada nas escolas, identificando convergências, lacunas e contradições. Esse procedimento possibilitou avaliar em que medida os dispositivos normativos têm sido incorporados aos projetos político-pedagógicos e quais fatores (estruturais, pedagógicos e institucionais) limitam ou potencializam a efetiva implementação da temática. Assim, a metodologia deste estudo confronta requisitos legais com a prática escolar, oferecendo subsídios para compreender os desafios da educação para a mobilidade sustentável no contexto brasileiro.

Resultados e Discussões

Em Melo *et al.* (2025) (artigo atualmente submetido à periódico), a análise integrada entre os requisitos legais da educação básica, da educação ambiental e da educação para o trânsito, bem como os princípios voltados à mobilidade sustentável, demonstra que o arcabouço normativo brasileiro fornece bases robustas para a construção de uma

formação escolar comprometida com a sustentabilidade e a segurança viária. A Constituição Federal de 1988 estabelece tanto o direito à educação quanto ao meio ambiente equilibrado como garantias fundamentais, vinculando-os à responsabilidade coletiva e ao dever do Estado (Brasil, 1988). A partir desse marco, Melo *et al.* (2025) (artigo atualmente submetido à periódico), mostra diversos instrumentos que foram elaborados para orientar a inclusão das temáticas ambientais e de trânsito no ensino básico, como a LDB (Lei nº 9.394/1996), as Diretrizes Curriculares Nacionais (Brasil, 2013), a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999), o Código de Trânsito Brasileiro (Lei nº 9.503/1997), o PNATRANS (Brasil, 2018) e a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012).

Em síntese, as Figuras 1a e 1b apresentadas no estudo-base, Melo *et al.* (2025) (artigo atualmente submetido à periódico), organizam esse conjunto de dispositivos normativos, destacando como seus princípios convergem para a formação de uma geração consciente, comprometida com a preservação ambiental e com a adoção de hábitos de transporte mais sustentáveis. A educação ambiental é prevista como obrigatória, interdisciplinar e permanente; a educação para o trânsito deve estar presente desde a educação infantil; e a mobilidade urbana sustentável é reconhecida como estratégia para reduzir desigualdades, promover saúde pública e mitigar impactos ambientais.

Figura 1a – Síntese dos requisitos legais.

Fonte: Melo *et al.*, 2025 (artigo atualmente submetido à periódico).

Figura 1b – Síntese dos requisitos legais.

Fonte: Melo *et al.*, 2025 (artigo atualmente submetido à periódico).

Entretanto, quando esses requisitos são confrontados com as práticas das escolas de Natal/RN, observam-se lacunas significativas entre a legislação e a realidade. Das 427 escolas registradas no município (INEP, 2020), Araújo *et al.* (2025) contactaram 75, e somente 5 instituições públicas responderam ao questionário então realizado. Apesar da limitação amostral, os dados obtidos oferecem uma visão inicial sobre como a legislação tem sido traduzida em ações pedagógicas no contexto escolar.

No eixo da educação básica, os dispositivos legais destacam a necessidade de universalizar o acesso e garantir uma formação integral, articulando a cidadania, a sustentabilidade e a responsabilidade social (Melo *et al.*, 2025) (artigo atualmente submetido à periódico). Contudo, as 5 escolas investigadas relataram inserir atividades relacionadas à mobilidade sustentável, porém de forma superficial e concentradas majoritariamente no ensino fundamental I (Araújo *et al.*, 2025). Essa limitação indica que, embora os marcos normativos prevejam a articulação da temática em todo o processo educativo, a implementação prática ainda ocorre de maneira fragmentada, restrita a iniciativas isoladas e sem a devida inserção nos projetos político-pedagógicos (PPP).

No campo da educação ambiental, a Política Nacional de Educação Ambiental e as Diretrizes Curriculares Nacionais reforçam sua obrigatoriedade, devendo ser transversal e contínua (Melo *et al.*, 2025) (artigo atualmente submetido à periódico). Contudo, os dados apresentados por Araújo *et al.* (2025) revelam que as 5 escolas desenvolvem ações

relacionadas ao tema, mas em sua maioria de caráter pontual, associadas a eventos comemorativos como o Dia Mundial do Meio Ambiente. Esse cenário confirma análises de Sá (2021) e Foglia *et al.* (2024), que apontam a prevalência de atividades pontuais e pouco articuladas ao currículo, revelando a distância entre a obrigatoriedade legal e a prática cotidiana.

Já em relação à educação para o trânsito, o distanciamento entre norma e prática é ainda mais evidente. Os achados de Melo *et al.* (2025) (artigo atualmente submetido à periódico) destacam que o CTB (Brasil, 1997) estabelece que a educação para o trânsito deve ser promovida desde a pré-escola, articulada com os órgãos do Sistema Nacional de Trânsito, e que o PNATRANS (Brasil, 2018) reforça essa diretriz, destacando a educação como eixo central para a redução de sinistros viários. As 5 escolas investigadas por Araújo *et al.* (2025) afirmaram abordar o tema, porém, sem regularidade, por meio de projetos pontuais ou parcerias externas, como em campanhas municipais. Nenhuma escola relatou a inclusão da educação para o trânsito em seu PPP de forma sistemática. Tal cenário confirma a ausência de recursos pedagógicos estruturados e de formação docente específica, como destacado por Serra do Ramalho (2020), além de apontar para um risco de perpetuar práticas pouco eficazes diante da gravidade dos índices de mortalidade no trânsito, que, segundo a OMS (2021), constituem uma das principais ameaças ao desenvolvimento sustentável.

No que se refere à Mobilidade Urbana Sustentável, de acordo com Melo *et al.* (2025) (artigo atualmente submetido à periódico) os dispositivos legais, como a PNMU (Lei nº 12.587/2012) e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Brasil, 2007), reforçam a necessidade de estimular meios não motorizados, transporte coletivo e tecnologias limpas. Além disso, as autoras destacam que os ODSs 11 e 13 enfatizam o compromisso internacional com a promoção de cidades mais sustentáveis. Apesar disso, na análise de Araújo *et al.* (2025) apenas duas escolas entre as respondentes relatou trabalhar o tema explicitamente, e ainda de forma restrita e não integrada ao currículo. Não foram observadas práticas consistentes de incentivo ao transporte ativo (caminhada, bicicleta) ou discussões mais amplas sobre o direito à cidade e o papel do transporte coletivo.

A partir dessa comparação, observa-se um descompasso estrutural entre a legislação e a prática escolar, sintetizado em três aspectos principais: (i) prevalência de atividades pontuais em detrimento de práticas sistematizadas; (ii) ausência de transversalidade e integração curricular, sobretudo nos PPP; e (iii) dependência de parcerias externas, o que fragiliza a sustentabilidade das iniciativas. Esses resultados reforçam a necessidade de repensar políticas públicas e estratégias de formação docente, de modo a assegurar que o robusto marco legal não se restrinja ao plano normativo, mas seja efetivamente traduzido em práticas educativas contínuas e transformadoras.

Apesar das limitações, é possível identificar potenciais integradores. A existência de iniciativas, mesmo que pontuais, nas cinco escolas analisadas, demonstra um campo fértil para expansão e fortalecimento. A literatura reforça que a infância constitui etapa crucial para a internalização de valores sustentáveis e para a indução de mudanças comportamentais duradouras em nível familiar e comunitário (Magalhães, 2025; Hopkins *et al.*, 2021; Dütschke *et al.*, 2022). Nesse sentido, o desafio está em transformar ações esporádicas em políticas pedagógicas permanentes, articuladas com os instrumentos normativos já consolidados.

Portanto, os resultados deste estudo indicam que a implementação da educação para a mobilidade sustentável no ensino básico brasileiro depende, fundamentalmente, da superação de barreiras estruturais e institucionais que impedem a plena realização das diretrizes legais. O fortalecimento da integração entre políticas educacionais e de mobilidade, aliado à formação continuada de professores e à inclusão efetiva da temática nos PPP, constitui um caminho essencial para alinhar prática e legislação. Assim, será possível consolidar a escola como espaço estratégico de transformação social, capaz de promover hábitos de transporte mais sustentáveis e contribuir para a construção de cidades mais seguras, justas e ambientalmente responsáveis.

Conclusão

A análise realizada permitiu evidenciar que o arcabouço legal brasileiro, ao contemplar a educação básica, a educação ambiental, a educação para o trânsito e os princípios da mobilidade urbana sustentável, oferece bases sólidas para a formação cidadã comprometida com a sustentabilidade e a segurança viária. Instrumentos como a Constituição Federal (Brasil, 1988), a LDB (Brasil, 1996), a PNEA (Brasil, 1999), o CTB (Brasil, 1997), a BNCC (Brasil, 2017) e a PNMU (Brasil, 2012) convergem na defesa da integração entre educação e mobilidade, alinhando-se às metas globais da Agenda 2030 da ONU (2015).

Entretanto, a comparação entre os requisitos normativos Melo *et al.* (2025) (artigo atualmente submetido à periódico) e as práticas observadas nas escolas de Natal/RN por Araújo *et al.* (2025), revela uma distância expressiva entre o previsto em lei e sua implementação cotidiana. Embora as cinco instituições respondentes tenham relatado iniciativas voltadas à temática, estas se mostraram pontuais, fragmentadas e majoritariamente restritas ao ensino fundamental I, sem incorporação efetiva nos projetos político-pedagógicos. Além disso, os temas de educação ambiental e de trânsito aparecem associados a datas comemorativas ou campanhas externas, carecendo de sistematização curricular.

Esse cenário confirma análises de autores como Braga (2022), Magalhães (2025) e Sá (2021), que apontam a insuficiente transversalidade das práticas, a carência de recursos pedagógicos estruturados e a fragilidade da formação docente como entraves centrais para a consolidação da mobilidade sustentável no ensino básico. Assim, verifica-se que o potencial transformador da escola como espaço estratégico de promoção de hábitos sustentáveis permanece limitado por barreiras estruturais, pedagógicas e institucionais.

Apesar disso, os resultados também sinalizam oportunidades. A presença, ainda que incipiente, de iniciativas nas cinco escolas analisadas demonstra a possibilidade de expansão e de consolidação de práticas mais consistentes, desde que articuladas de forma contínua e apoiadas por políticas públicas integradas. Transformar experiências isoladas em programas pedagógicos permanentes, alinhados aos dispositivos normativos já consolidados, constitui um caminho essencial para reduzir a lacuna entre a legislação e a realidade escolar.

Conclui-se, portanto, que a efetiva implementação da educação para a mobilidade sustentável no ensino básico brasileiro exige ações coordenadas em três frentes principais: (i) fortalecimento da formação inicial e continuada dos professores; (ii) incorporação sistemática do tema nos projetos político-pedagógicos; e (iii) integração das políticas de educação, trânsito e mobilidade urbana. Apenas com essa articulação será possível transformar o robusto marco legal em práticas concretas e duradouras, consolidando a escola como protagonista na construção de cidades mais seguras, inclusivas e ambientalmente responsáveis.

Referências

Andrade, Mateus Humberto; Moura, Filipe; Giannotti, Mariana Abrantes. Can outdoor activities and inquiry sessions change the travel behavior of children and their caregivers? empirical research in public preschools in São Paulo (Brazil). *Journal of Transport Geography*, [S.l.], v. 90, n. 102922, 2021. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102922.

Araújo, Isabela Stéfane Costa de; Melo, Ana Beatriz Freitas de; Magalhães, Isabel. Educação para o trânsito e ambiental em escolas de Natal/RN: desafios e potenciais na formação de hábitos de transporte sustentáveis. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 39., 2025, Goiânia. Anais [...]. Goiânia: ANPET, no prelo.

Bardin, Laurence. *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.

Braga, Nayara Sampaio. Caminhos escolares: análise de políticas públicas para uma mobilidade segura na infância. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/46012/1/2022_NayaraSampaioBraga.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 13.614, de 11 de janeiro de 2018. Cria o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (Pnatrans). *Diário Oficial*, Brasília, 11 jan. 2018a. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13614.htm>. Acesso em: 13 jan. 2025.

BRASIL. [Constituição (1988)]. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Presidência da República, 2016. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BRASIL. (1996). Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm>. Acesso em: 25 out. 2024.

BRASIL. (1999). Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm>. Acesso em: 3 dez. 2024.

BRASIL. (1997). Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm>. Acesso em: 7 jan. 2025.

BRASIL. (2013). Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 15 out. 2024.

BRASIL. (2014a). Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/113005.htm>. Acesso em: 4 nov. 2024.

BRASIL. (2014b). Resolução nº 514, de 18 de dezembro de 2014. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao5142014-1.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

BRASIL. (2012). Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm>. Acesso em: 9 jan. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Catálogo de Escolas. 2020. Disponível em: <<https://anonymousdata.inep.gov.br/analytics/saw.dll?Portal>>. Acesso em: 12 set. 2024.

BRASIL. Lei nº 13.614, de 11 de janeiro de 2018. Cria o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (Pnatrans). Diário Oficial, Brasília, 11 jan. 2018a. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13614.htm>. Acesso em: 13 jan. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007. Brasília, DF: MMA, 2007. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2024.

Dütschke, Elisabeth; Engel, Lukas; Theis, Anna; Hanss, Daniel. Car driving, air travel or more sustainable transport? Socio-psychological factors in everyday mobility and long-distance leisure travel. *Travel Behaviour and Society*, [S.l.], v. 28, p. 115-127, 2022. DOI: 10.1016/j.tbs.2022.03.002.

Magalhães, Isabel. Educação básica e sustentabilidade: uma análise exploratória da formação para hábitos de transporte sustentável. *Transportes*, [S.l.], v. 33, p. e3058, 2025. DOI: 10.58922/transportes.v33.e3058.

Melo, Ana Beatriz Freitas de; Araújo, Isabela Stéfane Costa de; Magalhães, Isabel. 2025. Educação ambiental e de trânsito no ensino básico: requisitos legais para hábitos de transporte sustentáveis. [Manuscrito submetido para publicação].

Foglia, G. S. P.; M. A. Cavalcanti e M. G. de Miranda. A educação ambiental aplicada a educação infantil uma revisão da literatura. Revista Valore, v.9, p. 125-140, 2024. DOI: 10.22408/reva9020241677124-140.

Hopkins, Debbie; Bengoechea, Enrique García; Mandic, Sandra. Adolescents and their aspirations for private car-based transport. Transportation, [S.l.], v. 48, p. 67-93, 2021. DOI: 10.1007/s11116-019-10044-4.

Serra do Ramalho (BA). Referencial curricular municipal para a educação infantil e ensino fundamental - Serra do Ramalho – BA. Serra do Ramalho: Secretaria Municipal de Educação, 2020. p. 48-49.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova Iorque, 2015. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/>>. Acesso em: 27 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Plano Global: década de ação pela segurança no trânsito 2021-2030. Genebra: OMS, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2021/10/oms-lanca-plano-para-reduzir-acidentes-e-mortes-no-transito-ate-2030/plano-de-acao-global-decada-2021-2030.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2025.

Sá, N. M. O. de. O papel da educação para formação sobre o meio ambiente. In: SILVA, Antonio Wardison C. et al. Educação ambiental, étnico-racial e em direitos humanos por uma reconstrução social. Americana/SP: Editora Adonis, p. 61-85, 2021. Disponível em: <https://unisal.br/wp-content/uploads/2021/12/E-book-Nucleos_2020-1.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.

Anexos



Figura 1a – Síntese dos requisitos legais



Figura 1b – Síntese dos requisitos legais

CÓDIGO: ET1260

AUTOR: GIOVANNA TRIGUEIRO DE LUCENA AZEVEDO

ORIENTADOR: MAGNA ANGELICA DOS SANTOS BEZERRA SOUSA

TÍTULO: Coagulação/floculação de vinhaça para fins de obtenção de nutrientes

Resumo

O cultivo da cana-de-açúcar tem influência direta no desenvolvimento e na economia brasileira desde a época da colonização portuguesa, sendo o primeiro produto de cultivado para exportação no período colonial até os tempos atuais, na produção de açúcar e álcool, tendo a sua consolidação como indústria sucroalcooleira. A vinhaça, principal efluente gerado na indústria sucroalcooleira, apresenta grande conteúdo de matéria orgânica, associado a nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio além de minerais, como zinco, ferro, manganês entre outros. No entanto, essa prática adotada sem o manejo adequado pode acarretar o desequilíbrio da concentração de nutrientes e sais no solo, ocasionando a perda da sua fertilidade. A técnica da coagulação e floculação, amplamente utilizada no tratamento de água bruta, consiste na desestabilização de partículas coloidais em um meio líquido, envolve mecanismos químicos e físicos. A floculação, aglutinação das partículas coaguladas, que ocorre em agitação lenta, também é influenciada pelos mecanismos envolvidos na coagulação. Este projeto tem como objetivo aplicar os processos de coagulação e floculação no tratamento da vinhaça para obtenção de biomassa rica em nutrientes e matéria orgânica com possibilidades de aplicação como fertilizante.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Vinhaça. Matéria orgânica. Fertilizante.

TITLE: Coagulation/flocculation of vinasse for nutrient recovery

Abstract

Sugarcane cultivation has had a direct influence on Brazilian development and economy since the time of Portuguese colonization, being the first product cultivated for export in the colonial period until the present day, in the production of sugar and alcohol, consolidating itself as the sugar and alcohol industry. Vinasse, the main effluent generated in the sugar and alcohol industry, has a high organic matter content, associated with nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium, as well as minerals such as zinc, iron, manganese, among others. These characteristics make it possible to use it as a fertilizer, among other possible applications, with fertigation being a common strategy on some sugarcane farms. However, this practice, when adopted without proper management, can lead to an imbalance in the concentration of nutrients and salts in the soil, causing a loss of fertility. The technique of coagulation

and flocculation, widely used in raw water treatment, consists of destabilizing colloidal particles in a liquid medium, involving chemical and physical mechanisms. Flocculation, the agglutination of coagulated particles, which occurs during slow agitation, is also influenced by the mechanisms involved in coagulation. This project aims to apply the processes of coagulation and flocculation in the treatment of vinasse to obtain biomass rich in nutrients and organic matter with potential applications as fertilizer and for the recovery of degraded soils.

Keywords: Sugarcane. Vinasse. Organic matter. Fertilizer.

Introdução

A coagulação, desestabilização de partículas coloidais em um meio líquido, envolve mecanismos químicos e físicos para acontecer. A floculação, aglutinação das partículas coaguladas, que ocorre em agitação lenta, também é influenciado pelos mecanismos envolvidos na coagulação. Os dois processos combinados são amplamente utilizados nas estações de tratamento de água e efluentes, na remoção de impurezas e na redução de carga orgânica. Os resíduos agroindustriais podem ser classificados de acordo com as suas características físicas e químicas. Nesse aspecto temos os resíduos essencialmente fibrosos (cascas, palha etc.), os pastosos (tortas de prensagens) e os líquidos (efluentes originados no processamento). Em todos há o conteúdo de carbono, sais minerais e nutrientes. Nos resíduos líquidos onde a matéria orgânica está presente e associada a sais minerais e algum percentual de fibra, o pré-tratamento para disponibilização do carbono e nutrientes é mais flexível, sendo utilizado como fonte alternativa de nutriente em processos biológicos. Segundo Leal (2007) a agroindústria brasileira é uma das mais produtivas e competitivas do mundo, graças a uma combinação singular de condições climáticas favoráveis, extensão territorial e recursos naturais abundantes. Desde a ocupação portuguesa o cultivo da cana-de-açúcar tem influência direta no desenvolvimento e na economia brasileira sendo o primeiro produto cultivado exportado do Brasil no período colonial. Nos dias atuais o cultivo da cana-de-açúcar passou a ter relevância, em função da inclusão definitiva do etanol na matriz energética brasileira. Os efluentes gerados na indústria sucroalcooleira, com destaque para a vinhaça, apresentam grande conteúdo de matéria orgânica, associado a nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio além de minerais, como zinco, ferro, manganês entre outros. Essas características tornam possível a sua utilização como substrato em processos fermentativos, a utilização na recuperação de solos e no auxílio de adubação (fertilização). Atualmente, as alternativas de valorização de resíduos através do seu aproveitamento têm sido muito incentivadas, já que podem contribuir para a redução da poluição ambiental, bem como permitir a valorização econômica desses resíduos tornando-os um subproduto e deste modo agregando valor ao processo de agroindustrialização (CAMILI, 2007). Este projeto tem como objetivo utilizar os processos de coagulação e floculação no tratamento da vinhaça para obtenção de biomassa rica em nutrientes e matéria orgânica com possibilidades de aplicação como fertilizante e recuperação de solos degradados. E vai propiciar iniciação científica além de cooperação com o IFRN. Essa cooperação é salutar para as duas instituições e seus alunos. Outro ponto a destacar é que os processos propostos fazem parte das operações unitárias da Engenharia Química, o que reforçará a aplicação prática dos conteúdos

aprendidos nas disciplinas do curso. Essa integração da teoria com a prática é um facilitador do processo ensino aprendizagem.

Metodologia

O projeto está na primeira das três fases que corresponde ao teste dos coagulantes. Para o início do experimento, foi feita uma solução de 0,404 gramas por litro de sulfato de alumínio para piscinas, da marca Suall Piscinas. Foram pesados 0,2027 do sulfato e colocados em um balão volumétrico de 500 mL. Completou-se o volume com água destilada e agitou-se. Em seguida, foram colocados 1 litro de solução concentrada de vinhaça 10 gramas por litro em duas células de um Flotatest. Além dos 1000 mL de vinhaça, em cada célula adicionou-se também 10 mL de solução de sulfato de alumínio preparada previamente. Após isso, iniciou-se a Flotação por Ar Dissolvido, onde foi ligada uma bomba que injeta ar no sistema. Após a injeção do ar o Flotatest foi ligado e ajustado para 12,2 RPM, iniciando a etapa de mistura rápida, que durou 5 minutos. Em seguida, a velocidade do aparelho foi diminuída, dando início a mistura lenta por mais 5 minutos. Ao fim desse tempo, a mistura descansou por 5 minutos com o aparelho desligado. No final, abriu-se as duas válvulas das células do Flotatest até que o volume das soluções abaixasse para 20%. Após isso, as soluções descansaram por mais 5 minutos. Este mesmo procedimento foi repetido com uma solução de quitosana 20 gramas por litro.

A comparação entre os dois coagulantes foi realizada a partir da determinação da Turbidez usando turbidímetro digital da marca Digimed. As análises foram feitas em duplicata.

Resultados e Discussões

Os resultados de Turbidez indicaram os valores de médios de 193 NTU (vinhaça bruta), 106 NTU (Flotação usando o sulfato de alumínio) e 670 NTU para a solução usando quitosana..

Durante o experimento, foi visto que a solução coagulante obtida a base de quitosana teve um melhor desempenho na produção de flocos que o sulfato de alumínio, embora seja preciso ajustar as condições experimentais para o posterior separação desses flocos. A separação dos flocos gerados a partir do uso do sulfato alumínio foi mais efetiva, por isso, apresentou menores valores de turbidez. Esse fato é positivo considerando que a quitosana é biodegradável e obtida de forma natural, tendo um uso mais viável do ponto de vista socioambiental.

Conclusão

O uso de coagulantes naturais é mais viável considerando o menor impacto que o seu descarte significará ao meio ambiente. O uso da quitosana produziu mais flocos que o sulfato de alumínio, por outro lado, a separação desse lodo não foi efetiva nas condições operacionais usadas. Esta é apenas a primeira etapa da pesquisa que tem um prazo para finalização em três anos junto ao CNPq.

Referências

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. Ed. 20. New York: APHA, WWA, WPCR, 2005.

CAMILI, E. A. Tratamento da manipueira por processo de flotação sem uso de agentes químicos. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. 78f. 2007.

LEAL, R. M. P. Efeito da irrigação com efluentes de esgoto tratado em propriedades químicas de um Latossolo cultivado com cana de açúcar. Dissertação (mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 109p. 2007.

MAGALHÃES, EMILIANNY RAFAELY BATISTA; FONSECA DE MENEZES, NADJA NAYARA; SILVA, FRANCINALDO LEITE; ALVES GARRIDO, JOSÉ WAGNER; SOUSA, MAGNA ANGELICA DOS SANTOS BEZERRA; SANTOS, EVERALDO SILVINO DOS. Effect of oil extraction on the composition, structure, and coagulant effect of Moringa oleifera seeds. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, ISSN: 09596526, 2021.

MAGALHÃES, EMILIANNY RAFAELY BATISTA; ALVES GARRIDO, JOSÉ W.; FERREIRA, ANA C. DA F. ; SILVA, FRANCINALDO L.; SOUSA, MAGNA ANGELICA DOS SANTOS BEZERRA. Coagulantes naturais e não convencionais para o tratamento de águas e efluentes no semiárido brasileiro., Campina Grande, 2021.

MAGALHÃES, V. R. Influência de doses de vinhaça nas características agrônômicas de variedades de cana-de-açúcar, cana-planta e atributos químicos do solo. Dissertação (mestrado) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Federal de Montes Claros. 89p. 2010.

PARNAUDEAU, V. et al. Vinasse organic matter quality and mineralization potential, as influenced by raw material, fermentation and concentration processes. Bioresource technology. 1553-1562, 2008.

PRADA, S.N.; GUEKEZIAN, M. e SUÁREZ-ILHA, M. E. V. Metodologia analítica para determinação de sulfato em vinhoto. Quimica nova. vol. 21, p. 249 252. 1998.

RIBEIRO et al. Cargas superficiais da fração argila influenciadas pela vinhaça e fósforo. Quim. Nova, v. 34, n. 01, p. 5-10. 2011.

ROCHA, V. C. Processamento anaeróbico de vinhaça pré-tratada com biopolímero à base de cálcio. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012. 104p.

SANTOS, P. S. Utilização da vinhaça como componente de solução nutritiva para hidroponia. Dissertação (Mestrado), Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010. 78p.

SILVA, M. A. S., GRIEBELER, N. P. e BORGES L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SILVA, G. S. P. L., SILVA, F. C., ALVES, B. J. R., TOMAZ, E., BERTON, R. S., MARCHIORI, L. F. S., SILVEIRA, F. G. Efeitos da aplicação de vinhaça in natura ou concentrada associado ao

n-fertilizante em soqueira de cana-de-açúcar e no ambiente. *Holos Environment*. v. 19, n. 1, p. 1-21, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i1.12212>

CÓDIGO: ET1291

AUTOR: JOAO CARLOS PEREIRA BERTO

ORIENTADOR: MARIA CAROLINA BURGOS COSTA DO NASCIMENTO

TÍTULO: Degradação acelerada de filmes plásticos de polipropileno com aditivo pró-degradante

Resumo

O acúmulo de resíduos plásticos em ambientes marinhos é um desafio ambiental, pois muitos são formados por polímeros altamente estáveis, como o polipropileno (PP). Nesse contexto, investigar a degradação e a formação de microplásticos em filmes de PP submetidos a envelhecimento acelerado é essencial para prever impactos ambientais. A proposta inicial deste trabalho foi avaliar filmes de PP puro e com aditivo pró-oxidante por fotodegradação, porém, devido a dificuldades na aquisição do aditivo, optou-se por analisar apenas amostras sem sua adição. Estudos anteriores do grupo indicam que o envelhecimento provoca alterações químicas, como formação de grupos carbonílicos e oxidação superficial, além de mudanças morfológicas, como microfissuras e rugosidade, e variações térmicas ligadas à cristalinidade e estabilidade. Esses efeitos evidenciam a fragilização gradual do PP e sua tendência à fragmentação, fornecendo uma visão integrada do seu comportamento em condições ambientais simuladas. Assim, os resultados permitem compreender a taxa de degradação e a geração de microplásticos, contribuindo para o entendimento do impacto do PP em ecossistemas aquáticos e para estratégias de mitigação da poluição marinha.

Palavras-chave: Polipropileno; envelhecimento acelerado; solução salina.

TITLE: Accelerated Degradation of Polypropylene Plastic Films with Pro-degradant Additive

Abstract

The accumulation of plastic waste in marine environments is a major environmental challenge, as many of these residues are composed of chemically stable polymers, such as polypropylene (PP). In this context, investigating the degradation and microplastic formation of PP films subjected to accelerated aging is essential to predict environmental impacts. The initial proposal of this work was to evaluate pure PP films and those containing pro-oxidant additives under photodegradation; however, due to difficulties in acquiring the additives, only samples without them were analyzed. Previous studies from the same research group indicate that aging promotes chemical changes, such as the formation of carbonyl groups and surface oxidation, as well as

morphological alterations, including microcracks and surface roughness, in addition to thermal variations related to crystallinity and material stability. These effects reveal the gradual embrittlement of PP and its tendency to fragment, providing an integrated view of the polymer's behavior under simulated environmental conditions. Therefore, the results allow a better understanding of the degradation rate and the potential generation of microplastics, contributing to the knowledge of PP behavior in aquatic ecosystems and to the development of strategies for mitigating marine pollution.

Keywords: Polypropylene; accelerated aging; saline solution.

Introdução

O uso de materiais plásticos tem se expandido significativamente nas últimas décadas, devido à sua versatilidade, baixo custo e propriedades mecânicas e químicas favoráveis. Apesar de representarem um aproveitamento mais nobre do petróleo em comparação à simples combustão, os plásticos apresentam impactos ambientais consideráveis, principalmente devido à sua alta resistência à degradação natural [1]. Diante desse cenário, estratégias de manejo e tratamento de resíduos plásticos têm sido amplamente discutidas. Nesse contexto, o estudo da degradação de polímeros surge como uma alternativa promissora, capaz de reduzir o impacto ambiental dos plásticos sem comprometer significativamente os recursos naturais [2, 3].

O polipropileno (PP) é uma poliolefina, termoplástico amplamente utilizado na indústria, devido à sua capacidade de ser reprocessado e moldado diversas vezes, mantendo suas propriedades [4]. Apesar de suas vantagens, o PP apresenta elevada estabilidade química, o que dificulta sua degradação em ambientes naturais, tornando-o um componente significativo da poluição e formação de microplásticos.

A degradação do polipropileno envolve processos químicos que resultam na quebra das ligações da cadeia principal, formação de macrorradicais reativos, ramificações, reticulações, diminuição da massa molar ou até despolimerização [5]. De acordo com a norma ASTM D883 (2012), a degradação de polímeros pode ser entendida como qualquer alteração deletéria na estrutura química, nas propriedades físicas ou na aparência, independentemente do mecanismo de quebra das cadeias, incluindo efeitos térmicos, foto-oxidativos ou químicos.

Neste contexto, avaliar o envelhecimento do PP em diferentes condições ambientais simuladas, como exposição térmica, radiação UV e solução salina, é fundamental para compreender os mecanismos de degradação, alterações na cristalinidade, estabilidade térmica e fragmentação em microplásticos. Estudos desse tipo fornecem informações essenciais para o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento de resíduos plásticos, mitigação de impactos ambientais e compreensão do comportamento de materiais poliméricos em ecossistemas aquáticos.

O presente trabalho tem como objetivo investigar a degradação de filmes de PP sob condições de envelhecimento acelerado, correlacionando alterações químicas, morfológicas e térmicas às tendências de fragmentação, contribuindo para uma avaliação adequada da formação de microplásticos em ambientes simulados.

Metodologia

Os filmes de polipropileno (PP) foram preparados por moldagem por compressão em prensa hidráulica, a 200 °C. O processo envolveu uma etapa inicial de pré-prensagem durante 1 minuto, seguida da aplicação de carga de 2 toneladas por mais 1 minuto. Para evitar a adesão do polímero às placas metálicas, utilizaram-se folhas de Kapton como interface. Após o resfriamento, os filmes foram recortados em corpos de prova de 4 × 2 cm e devidamente identificados. Cada amostra teve sua espessura medida com micrômetro e sua massa foi registrada em balança analítica.

Devido à problemas relacionados com a aquisição de aditivos pró-degradantes, houve atraso no desenvolvimento do trabalho, de forma que atualmente as amostras encontram-se em processo de envelhecimento em estufa, imersas em solução salina a 58 °C. As amostras serão submetidas por 1, 3 e 6 meses.

As técnicas de caracterização previstas incluem microscopia eletrônica de varredura (MEV), para observar alterações morfológicas na superfície; espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), para detecção de grupos oxidativos formados durante a degradação; análise termogravimétrica (TGA), para estudo da estabilidade térmica; calorimetria diferencial de varredura (DSC), para análise da cristalinidade e das transições térmicas; e ensaios de índice de fluidez (MFI), que fornecerão indícios sobre variações no peso molecular associadas a processos de cisão de cadeia.

É importante ressaltar que não foram adicionados pró-degradantes às formulações. Essa decisão decorre, em parte, da dificuldade da aquisição desses aditivos, além da dificuldade em obter informações claras sobre a composição desses aditivos junto às empresas fornecedoras. Por outro lado, a utilização do PP sem aditivos facilita a análise de correlação entre tempo de vida útil em ambiente marinho versus degradação do PP sob envelhecimento acelerado. Dessa forma, os resultados obtidos representarão mais precisamente a cinética de degradação do material.

Resultados e Discussões

Durante o desenvolvimento experimental, alguns desafios encontrados atrasaram a execução do projeto. A primeira dificuldade esteve relacionada à aquisição do polipropileno, uma vez que empresas que comercializam este produto priorizam sua venda em grandes quantidades, o que ocasionou atraso no cronograma inicial. Após conseguir uma doação do material, buscou-se inicialmente a produção dos filmes de PP por solução, utilizando xileno como solvente, com o intuito de produzir filmes homogêneos. Foram realizadas inúmeras tentativas de preparação, variando parâmetros como concentração de polímero e de solvente, tempo de solubilização, intensidade de

agitação e temperatura de processamento. Apesar dos ajustes sistemáticos, os filmes obtidos apresentaram fragilidade mecânica, baixa coesão e dificuldade de destacamento do substrato, além de, em muitos casos, sequer formarem uma película contínua. Esse processo exigiu inúmeras repetições laboratoriais e consultas em trabalhos da literatura, mas, ainda assim, não foi possível obter filmes por solução.

Após várias tentativas, optou-se pela produção dos filmes por prensagem a quente como alternativa metodológica viável. Assim, as dificuldades iniciais foram determinantes para direcionar a escolha do procedimento final, que possibilitou a continuidade do trabalho experimental.

A caracterização inicial das amostras de PP puro foi realizada com o objetivo de estabelecer um parâmetro de referência para futuras comparações com os filmes submetidos ao envelhecimento acelerado. As técnicas utilizadas foram espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise termogravimétrica (TGA), que permitiram avaliar a composição química, morfologia superficial e estabilidade térmica do polímero. A definição dessas técnicas e parâmetros foi fundamentada em uma revisão da literatura detalhada, que forneceu subsídios para selecionar condições analíticas adequadas, tais como intervalos de temperatura para TGA (20 a 800 °C) e DSC (25 a 400 °C, com rampa de aquecimento de 10 °C/min), regiões espectrais de interesse para FTIR (4000 a 650 cm^{-1}) e escalas de observação para MEV [6, 7].

Espera-se que o envelhecimento em estufa, na presença de solução salina a 58 °C, induza alterações químicas graduais, como a formação de grupos carbonílicos e peróxidos detectáveis por FTIR, principalmente nas regiões de 1700 a 1720 cm^{-1} [8]. Esse aumento na intensidade de bandas específicas será comparado com o PP puro, permitindo verificar tendências de oxidação e degradação química associadas à exposição térmica e ao ambiente salino.

Em termos morfológicos, espera-se que as amostras submetidas à estufa apresentem alterações superficiais discretas, observáveis por MEV, como microtrincas iniciais, fissuras superficiais e alterações na rugosidade da superfície. Esses indícios, ainda que sutis, fornecerão informações importantes sobre o início do processo de fragilização do PP, possibilitando uma análise qualitativa e quantitativa em comparação com as amostras de PP puro. Para os filmes destinados à câmara de radiação UV, prevê-se que as modificações morfológicas sejam mais evidentes, refletindo maior intensidade de foto-oxidação, com microtrincas e aumento de rugosidade mais pronunciados [9].

A estabilidade térmica, avaliada por TGA é um parâmetro crítico para compreender alterações intrínsecas no material. Espera-se que o envelhecimento resulte em redução da temperatura de início de degradação (T_i) e da temperatura de máxima velocidade de perda de massa (T_{max}), indicadores de cisão de cadeias e perda de integridade estrutural [10]. Paralelamente, a calorimetria diferencial de varredura (DSC) fornecerá informações sobre modificações na cristalinidade do PP, além de permitir avaliar as transições de fusão, cristalização e possíveis rearranjos estruturais induzidos pela degradação. A literatura mostra que, em processos de envelhecimento, a quebra de cadeias amorfas pode gerar recristalização parcial, fenômeno conhecido como chemi-cristalinidade, que será investigado nas amostras envelhecidas [11].

O índice de fluidez (MFI) será utilizado para complementar a avaliação do efeito do envelhecimento sobre a massa molar do PP. Espera-se que o aumento do MFI esteja relacionado à quebra de cadeias e à redução da viscosidade do polímero fundido. A comparação com as amostras de PP puro permitirá correlacionar mudanças físicas e químicas com alterações na integridade estrutural do material.

Uma extensa revisão da literatura foi realizada com o objetivo de prever as tendências esperadas, o que facilitará a discussão dos resultados. A análise integrada dessas informações permitirá compreender a taxa de degradação do PP e a tendência de fragmentação, fornecendo dados relevantes sobre o comportamento do material em ambientes marinhos simulados e contribuindo para estratégias de gestão de microplásticos, por meio de uma correlação entre a degradação do PP em ambiente marinho natural e sua degradação em ambiente de envelhecimento acelerado.

Conclusão

O presente estudo demonstrou que a degradação do polipropileno (PP) está intimamente relacionada às condições de exposição, evidenciando alterações químicas, morfológicas e térmicas que podem ser monitoradas por técnicas de caracterização como FTIR, MEV, TGA e DSC. Por meio de uma extensa revisão da literatura, foi possível definir os protocolos analíticos e parâmetros experimentais necessários para avaliar a taxa de degradação do PP em diferentes condições simuladas. A definição cuidadosa dos parâmetros de caracterização, baseada em revisão da literatura e evidências anteriores, permitiu antecipar tendências e estabelecer uma metodologia sólida para futuras análises.

Portanto, espera-se que os resultados indiquem que o PP apresenta degradação progressiva ao longo do tempo, apresentando alterações químicas, morfológicas e estruturais que podem ser correlacionadas com o surgimento de microplásticos em ambientes marinhos simulados. A integração dos dados obtidos nas análises físicas, químicas e térmicas fornecerá informações fundamentais para compreender a taxa de degradação do PP, sua fragilização e os possíveis impactos ambientais, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de gestão de resíduos plásticos e mitigação da poluição marinha.

Referências

- [1] ZANIN, M.; MANCINI, S. D. Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia. 2. ed. São Carlos: SciELO Books, 2015. 138 p.
- [2] ACHILIAS, D. S.; ROUPAKIAS, C. P.; MEGALOKONOMOS, A. A.; LAPPAS, E. V.; ANTONAKOU, E. Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene

(LDPE and HDPE) and polypropylene (PP). *Journal of Hazardous Materials*, v. 149, n. 3, p. 536-542, 2007.

[3] FARIA, A. U.; MARTINS-FRANCHETTI, S. M. Biodegradação de filmes de polipropileno (PP), poli(3-hidroxibutirato) (PHB) e blenda de PP/PHB por micro-organismos das águas do Rio Atibaia. *Polímeros*, v. 20, n. 2, p. 141-147, 2010.

[4] CANEVAROLO JR, S. V. *Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros*. São Paulo: ArtLiber, ABPol – Associação Brasileira de Polímeros, 2006. 183 p.

[5] RABELLO, M. *Aditivação de polímeros*. São Paulo: Artliber, 2000. 242 p.

[6] RABELLO, M. S.; WHITE, J. R. Fotodegradação do polipropileno: um processo essencialmente heterogêneo. *Polímeros*, v. 7, n. 2, p. 47–57, jun. 1997.

[7] PIRES, J. P. Estudo da degradação de blendas de polipropileno com aditivos comerciais. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

[8] MAJEWSKY, M.; BITTER, H.; EICHE, E.; HORN, H. Determination of microplastic polyethylene (PE) and polypropylene (PP) in environmental samples using thermal analysis (TGA-DSC). *Science of the Total Environment*, v. 568, p. 507-511, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.017.

[9] DA SILVA, L. F. Influência do índice de radiação ultravioleta e salinidade na degradação de microplásticos. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, 2021.

[10] GHOSH, P. *Polymers Science and Technology: Plastics, Rubbers, Blends and Composites*. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2002. 555 p.

[11] RABELLO, M. S. *Estrutura e propriedades de polímeros*. 2. ed. Campina Grande: Ed. do autor, 2023. ISBN 978-65-00-69331-7.

CÓDIGO: ET1311

AUTOR: LUIZ EDUARDO FERNANDES LOBATO

ORIENTADOR: JOSE ALFREDO FERREIRA COSTA

TÍTULO: Criando uma nova ferramenta de pesquisa no site da Prefeitura de Natal usando Grandes Modelos de Linguagem (LLMs)

Resumo

A popularização dos Grandes Modelos de Linguagem (LLMs), aplicação da Inteligência Artificial, ocorrida em 2022 com o lançamento do ChatGPT, abriu possibilidades de aplicações jamais pensadas em diversas áreas do conhecimento. Alguns casos de uso incluem pesquisa e revisão de texto, escrita acadêmica, programação e criação de assistentes especialistas em domínios específicos. Particularmente, referente ao primeiro caso de uso, os LLMs desbloquearam uma nova forma de pesquisa em bases de dados textuais: pode-se procurar por palavras e termos com base no significado em vez de palavras-chaves exatas, que complicam a busca. Com base nisso, foi desenvolvido na linguagem Python um assistente textual que auxilia na busca de leis e decretos no site da Prefeitura de Natal. O assistente usa o LLM Google Gemini para a geração de respostas e faz uso do conceito de Geração Aumentada de Recuperação (RAG) para ler os decretos e leis presentes na base de dados e responder a uma pergunta do usuário de forma humanizada, entregando os documentos relacionados ao pedido dele. O RAG consiste numa técnica de aumento de conhecimento da LLM por meio de textos ou outras fontes armazenadas de forma vetorial, conhecidos como "embeddings". Isso permite buscar a fonte do banco de dados mais próxima semanticamente à pergunta do usuário, que será usada na resposta da LLM. Para gerenciar o fluxo das ferramentas, é usada uma biblioteca Python chamada Langchain, que facilita o uso de RAG na LLM.

Palavras-chave: Embeddings; Google Gemini; Inteligência Artificial; LLMs; RAG

TITLE: Creating a new search tool on the Natal City Hall website using Large Language Models (LLMs)

Abstract

The popularization of Large Language Models (LLMs), an application of Artificial Intelligence, which occurred in 2022 with the launch of ChatGPT, opened up previously unthinkable application possibilities in various fields of knowledge. Some use cases include text search and review, academic writing, programming, and the creation of domain-specific expert assistants. Specifically, regarding the first use case, LLMs unlocked a new way of searching text databases: one can search for words and terms

based on their meaning rather than exact keywords, which complicate the search. Based on this, a text assistant was developed in Python to assist in searching for laws and decrees on the Natal City Hall website. The assistant uses the Google Gemini LLM to generate answers and utilizes the concept of Retrieval Augmented Generation (RAG) to read the decrees and laws present in the database and respond to a user's question in a human-like manner, delivering the documents related to the request. RAG is a technique for augmenting LLM's knowledge through text or other sources stored in vector format, known as "embeddings." This allows the search for the database source that is semantically closest to the user's question, which will then be used in the LLM's response. A Python library called Langchain is used to manage the flow of tools, which makes the use of RAG in LLMs easier.

Keywords: Artificial Intelligence; Embeddings; Google Gemini; LLMs; RAG

Introdução

A partir de 2022, o público geral ganhou acesso ao Grande Modelo de Linguagem (LLM) da OpenAI, o ChatGPT. Treinado em uma base de conhecimentos que abrange quase a totalidade do conhecimento humano, o amplo sucesso da Inteligência Artificial pode ser explicado pela enorme quantidade de usos em todas as áreas do conhecimento. Alguns tipos de uso incluem pesquisa e revisão de texto, escrita acadêmica, programação e criação de assistentes especialistas em domínios específicos. No que se refere ao primeiro caso de uso, uma grande inovação que os LLMs trazem é a busca textual por significado no lugar de palavras-chave, cuja exatidão dificulta a pesquisa. Por exemplo, quando se pesquisa um exemplar num sistema de biblioteca, é preciso digitar exatamente o nome da obra, do autor ou quaisquer campos que o sistema permita. Utilizando LLMs, seria possível realizar uma busca de forma mais natural, por meio de tópicos ou conversas, de forma que o usuário pareça estar consultando um assistente que saiba tudo sobre a base de dados do sistema.

O objetivo do presente trabalho é construir um assistente de LLM em linguagem Python a ser usado como uma nova ferramenta de busca no site da Prefeitura de Natal. Atualmente, a consulta legislativa do site é feita num formato padrão de formulário em que o usuário preenche pelo menos um destes campos: "Tipo do Documento", "Ementa" e "Data". O sistema então retorna os documentos relativos aos campos preenchidos. Como já mencionado, a limitação dessa busca se encontra na exatidão exigida do usuário para que seja bem-sucedida. Além disso, não há naturalidade no seu uso. A solução proposta é usar o LLM Google Gemini para saber tudo sobre os documentos legislativos da Prefeitura de Natal e, como um assistente, responder a perguntas citando os documentos que fundamentam sua resposta. Isso aumenta a confiança do usuário, que poderá comparar as respostas do assistente com os documentos oficiais da Prefeitura.

Os LLMs são treinados em enormes conjuntos de dados, que vão desde arquivos digitais a documentos físicos. No entanto, uma de suas maiores limitações é a falta de domínio específico. Ao receber uma pergunta sobre a legislação da cidade de Natal, o LLM pode responder sem ter sido treinado com os dados necessários, pode estar desatualizado ou mesmo responder de forma parcialmente correta mas sem citar sua

fonte. Para solucionar isso, pode ser usada uma tecnologia chamada Geração Aumentada de Recuperação (RAG). O RAG consiste num aumento do conhecimento do LLM por meio de uma base de dados composta por fontes quaisquer, sejam elas de arquivos PDFs, planilhas, websites, textos puros etc. Após extrair o texto das fontes, eles são divididos em fatias menores chamadas "chunks", que por sua vez são transformados em vetores, processo denominado de "embedding". Os vetores são armazenados num banco de dados vetorial. Quando o usuário faz uma pergunta, ela também é transformada em vetor, e então se procura na base de dados o vetor mais semelhante ao vetor da pergunta do usuário. Quando encontrado, ele é colocado no prompt do LLM de forma oculta antes de ser enviado. Por fim, o LLM responde ao usuário com um prompt incrementado, de forma que ele possa citar a fonte de sua resposta.

O RAG pode ser implementado manualmente, mas comumente se utilizam bibliotecas que facilitam sua construção. A biblioteca Langchain foi usada devido à sua grande popularidade. Pelo mesmo motivo, o banco de dados vetorial ChromaDB foi escolhido. O tamanho dos vetores depende do modelo escolhido para gerar os "embeddings", que neste caso foi o "gemini-embedding-001" também da Google. Por padrão, ele representa textos com vetores de 3072 dimensões. Dessa forma, este é o conjunto completo das tecnologias utilizadas no assistente textual.

Metodologia

O conjunto de dados utilizado neste trabalho é composto por 6.673 documentos legislativos obtidos do site da Prefeitura de Natal. Esses documentos incluem decretos e leis complementares, ordinárias ou promulgadas. Utilizando a linguagem Python, primeiro os documentos foram organizados em uma pasta e seus textos foram extraídos e divididos em "chunks", que são pedaços menores do texto com uma pequena interseção entre eles para melhoria de desempenho. Após isso, o modelo de "embedding" Gemini transforma cada "chunk" em um vetor de 3.072 dimensões, e cada uma delas representa uma parte do significado do texto e não pode ser interpretada diretamente por seres humanos. Os vetores são armazenados numa instância de banco de dados ChromaDB, que é guardado localmente no computador, mas que pode ser colocado na nuvem como futura melhoria. Quando o usuário digita uma pergunta no "prompt", o sistema busca o vetor mais semelhante ao vetor da pergunta do usuário e o coloca no mesmo "prompt" antes de ele ser enviado ao LLM. A função "semelhança" de vetores pode ser escolhida, mas por padrão é utilizada a similaridade de cosseno, que mede o ângulo entre dois vetores. Todo esse processo é feito pela biblioteca Langchain, que define a cadeia seguida pelo sistema. O Langchain é a biblioteca responsável pela "orquestração" das ferramentas de projetos envolvendo LLMs. Neste caso, projeto de RAG, o Langchain conecta o banco de dados, o modelo de "embedding" e o LLM, os prompts etc.

Para executar tudo, foi criado um ambiente virtual em Python para a instalação do Langchain e seus módulos que envolvem as outras ferramentas, ou "wrappers". Foi consultada a documentação oficial da biblioteca e das ferramentas envolvidas. Para usar

o LLM e o modelo de "embedding" da Google é necessário utilizar sua API, que é gratuita com certos limites. O assistente textual não tem interface própria, e seu uso ainda se dá pelo terminal do computador, mas isso pode facilmente ser melhorado para posteriormente ser integrado ao site da Prefeitura de Natal. O algoritmo que envolve Langchain foi grandemente inspirado no algoritmo do curso "Ollama Course – Build AI Apps Locally", do instrutor Paulo Dichone. Embora utilize LLMs locais, a cadeia do Langchain usada na aula é extremamente semelhante quando aplicada com LLMs de APIs externas.

Resultados e Discussões

Inicialmente houve muita dificuldade no desenvolvimento do projeto, pois se tentou usar um modelo de "embedding" local, que rodaria no próprio computador. Quando isso se tornou problemático, foi escolhido o mais novo modelo de "embedding" da Google, o "gemini-embedding-001". Ele se mostrou especialmente eficaz devido à acurácia das respostas e sua fácil integração com o restante do projeto desenvolvido com Langchain. Porém, outra dificuldade surgiu devido à grande quantidade de documentos utilizados. A API da Google limita seu uso gratuito com base no número de requisições, isto é, de usos, durante certo período de tempo. Para contornar isso, é necessário reduzir o número de usos da API para que, aos poucos, sejam gerados os "embeddings" de todos os textos legislativos, o que pode demorar bastante. O lado positivo é que, se bem-sucedida, a criação do banco de dados vetorial só precisa ser realizada uma vez, e o banco pode ser reutilizado quantas vezes for necessário.

Para testar a aplicação, basta perguntar sobre algum tema que envolve os documentos utilizados para obter uma resposta natural do sistema. No código, o LLM é orientado a responder em Português. Se uma pergunta não tiver relação com algum dos documentos, ele dirá que não encontrou informações relevantes. É possível implementar futuramente uma limitação de perguntas por tempo, para que o usuário não extrapole o uso do modelo.

O modelo finalizado se mostra muito eficaz para responder a perguntas sobre documentos legislativos. Devido à capacidade de citar suas fontes, o usuário pode facilmente verificar se o modelo está correto. Além disso, a flexibilidade dos LLMs está presente, e o assistente pode mudar seu tom de fala para se adequar aos diferentes públicos que forem utilizá-lo.

É válido ressaltar que o assistente pode ser melhorado para receber um fluxo de documentos atualizados com periodicidade, de forma que o sistema não fique desatualizado. Porém, esse recurso é mais complexo e envolve a implementação de uma "pipeline" de dados, que consiste na série de etapas automatizadas de coleta, formatação e preparação dos dados junto à execução do modelo. Ainda, o projeto foi feito de forma modularizada. Isso significa que é possível trocar o LLM, modelo de "embedding" ou banco de dados sem muitas dificuldades, caso os requisitos do projeto sejam alterados.

Conclusão

Neste estudo foi concebido um assistente textual para ser usado como uma ferramenta de busca e consulta dentro do site da Prefeitura de Natal. Ao ter acesso aos documentos do site, o assistente permite buscar e consultar documentos de forma próxima à linguagem humana, mas com a validação por parte do usuário ao recorrer às fontes primárias, ao contrário do que ocorre muitas vezes em usos mais simplórios de LLMs. Embora o assistente já esteja funcional, ele ainda pode ser caracterizado como protótipo. Muitos recursos que o tornariam apto para uso em produção não foram implementados, como "pipeline" para obtenção e tratamento dos documentos legislativos de forma periódica, uma interface "front-end" adequada para o usuário ou mesmo um melhor LLM para satisfazer à precisão necessária quando se trata de textos legislativos. Ainda, a dependência de APIs externas pode ser indesejável, o que traria a necessidade de remodelar o assistente para que seja executado inteiramente de forma local, usando LLMs e modelos de "embeddings" locais. Porém, isso requer recursos computacionais consideráveis, e deve-se considerar os benefícios e malefícios de cada abordagem.

Os modelos de "embedding" têm inúmeras aplicações. O último modelo lançado pela Google e usado neste projeto, "gemini-embedding-001", pode ser configurado para diferentes tarefas, como checagem de fatos, classificação e até semelhança textual. A orquestração das ferramentas por meio do Langchain pode se tornar complexa, e dependendo dos requisitos do projeto, é recomendável procurar bibliotecas mais intuitivas, como LlamaIndex ou o recém-lançado Agno. Portanto, nunca foi tão eficaz desenvolver projetos de LLMs, mas ainda é preciso investigação para dar conta das inúmeras ferramentas existentes.

Referências

1. CHROMADB. Chroma: The open-source embedding database. 2024. Disponível em: <https://www.trychroma.com/>. Acesso em: 31 ago. 2025.
2. GOOGLE. Documentação do Google Embeddings. Disponível em: <https://ai.google.dev/gemini-api/docs/embeddings?hl=pt-br>. Acesso em: 31 ago. 2025.
3. LANGCHAIN. LangChain Documentation. 2024. Disponível em: https://python.langchain.com/docs/get_started/introduction. Acesso em: 31 ago. 2025.
4. FREECODECAMP.ORG. Ollama Course – Build AI Apps Locally. [S. l.]: YouTube, 26 nov. 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GWB9ApTPTv4>. Acesso em: 31 ago. 2025.

CÓDIGO: ET1313

AUTOR: JAIME ERISON SILVA RIBEIRO

ORIENTADOR: JOSE HERIBERTO OLIVEIRA DO NASCIMENTO

TÍTULO: Analisando a dimensão fractal e a rugosidade na obtenção de têxteis superhidrofóbicos nanorevestidos com semicondutores dopados e PTFE via PVD-PMS

Resumo

A biomimética tem avançado muito em patentes e artigos, impulsionada pela nanotecnologia. Isso porque superfícies bioinspiradas, com propriedades autolimpantes e fotocatalíticas, estão sendo muito usadas na indústria para tratar efluentes, desinfetar, higienizar e em outras aplicações futuras. Entender e criar essas superfícies não é simples, pois exige conhecimento em diversas áreas como físico-química de superfície, modelagem matemática, termodinâmica, microfluídica e caracterização microestrutural. Técnicas de caracterização que não usam água (como as técnicas físicas, ao contrário das químicas) ajudam a modelar essas superfícies. Elas permitem um controle preciso do processo e dos fenômenos de "fractalidade", usando softwares específicos. Neste estudo, utilizamos uma técnica de deposição a vácuo chamada pulverização catódica pulsada bipolar assimétrica. Essa técnica é limpa e de baixo custo, e nos permite controlar o crescimento dos nanorevestimentos em materiais têxteis, como a formação de vales e rugosidades para criar o "efeito lótus". Ao usar um alvo de dióxido de titânio (TiO₂) com prata (Ag), conseguimos dopar os nanorevestimentos e facilitar a formação de aglomerados e vales. Através da análise de fractais com o software Mountain SP@8.2, percebemos que a prata é crucial para que o nanorevestimento de PET tenha propriedades de repelência à água.

Palavras-chave: Têxtil Nanorresvestido, PVD, Tio₂-xAg, Rugosidade, Fractal

TITLE: Analyzing the fractal dimension and roughness in obtaining superhydrophobic textiles nanocoated with doped semiconductors and PTFE via PVD-PMS

Abstract

Biomimetics has seen great progress in patents and published articles due to nanotechnology. Bio-inspired nanocoating surfaces with self-cleaning and photocatalytic properties are in high demand in the industry, with direct applications in effluent treatment, disinfection, sanitation, and other futuristic uses. Understanding

these surfaces and synthesizing these nanomaterials using physical or chemical methods to create bio-inspired surfaces is not easy. It requires advanced knowledge in areas like surface physical chemistry, mathematical modeling, thermodynamics of equilibrium, microfluidics, and a range of advanced microstructural characterization techniques. Environmentally friendly characterization techniques have helped model bio-inspired surfaces. Unlike chemical syntheses, physical methods do not use water and allow for process control using specific software connected to a computer. This makes it possible to control the fractal phenomena involved in obtaining these highly sought-after surfaces. In this work, an atomic sputtering technique was used: bipolar asymmetric pulsed physical vapor deposition. This is a clean, low-cost technique that allows for the precise control of the growth of nanocoatings on textile materials. It also enables continuous control over the formation of valleys and roughness to achieve lotus effects on textile surfaces. By using a fixed ratio of reactive and inert gas, as well as parameters like power, electric current, and reverse phases, we

Keywords: Textile Nanocoated, PVD, Silver Doped Tio₂, Roughness, Fractal

Introdução

As superfícies super-hidrofóbicas ou auto-limpantes têm ganhado cada vez mais destaque nas pesquisas recentes, devido às características de limpeza sem utilizar algum componente externo para auxiliar nessa tarefa. Uma superfície é considerada hidrofóbica quando ela apresenta um ângulo de contato (CA) superior a 90° e super hidrofóbica quando os valores de CA são superiores a 150°. Essa propriedade é encontrada na natureza, mais precisamente na flor de lótus e a partir dessas características, diversas pesquisas têm sido realizadas a fim de desenvolver ou melhorar materiais super hidrofóbicos com elevados CA. Dois fatores importantes são as escalas da estrutura (micro/nano) do material e a baixa energia da superfície. Esses fatores afetam diretamente a capacidade auto limpante do material, bem como a repelência do líquido na superfície. Os materiais têxteis apresentam uma alternativa bastante atraente no estudo de acabamentos super hidrofóbicos, justamente por conta da estrutura no qual esses materiais são construídos, eles apresentam um certo grau de rugosidade e hidrofobicidade. Um material têxtil que se destaca nesses estudos é o Polietileno Tereftalato (PET). O PET é um polímero amplamente utilizado em todo o mundo por conta da sua alta resistência à tensão e abrasão, durabilidade, boa disponibilidade no mercado, além de apresentar um baixo custo. Com base nisso, a sua aplicabilidade em indústrias de embalagens, reforço estrutural de construções, biomédica, compósitos e indústria têxtil, torna-o tão atraente. Entretanto, os materiais têxteis apresentam diferentes escalas de rugosidade de acordo com a fibra e direção dos fios/filamentos. Várias rotas a fim de tornar a superfície têxtil super hidrofóbica são estudadas, tais como pulverização eletrostática, revestimento com nanopartículas, técnica sol-gel, layer by layer, pulverização catódica. A pulverização catódica de magnetron (PCM) tem se destacado em comparação às demais técnicas de acabamento superficial devido ao seu baixo custo a respeito dos materiais, rapidez e por ser uma técnica mais simples, em comparação às demais. A técnica consiste em depositar um determinado componente, desde metais, não-metais, óxidos metálicos, nano filmes, a superfície do material têxtil a fim de melhorar as propriedades, como proteção contra raios UV, anti bactericida, anti chamas, condutividade elétrica, etc. Contudo, poucos estudos apontam a utilização da

pulverização catódica para modificar a rugosidade e a molhabilidade após depositar determinado material à superfície têxtil. Estudos da década passada utilizaram a técnica PMC para depositar Dióxido de Titânio (TiO_2) à superfície do poliéster e em seguida doparam com nanopartículas de Prata (Ag) a fim de obterem um compósito com propriedades ópticas e elétricas. Neste estudo, o nanorevestimento de dióxido de titânio (TiO_2) dopado com prata (Ag) foi adicionado à superfície têxtil utilizando a técnica de pulverização catódica de magnetron (PCM). O grau de irregularidade das superfícies super hidrofóbicas de PET foram investigados utilizando as análises de fractais a fim de avaliar o impacto da rugosidade na passagem de água na superfície da fibra.

Metodologia

2.1 Reagentes e materiais O substrato têxtil utilizado neste estudo foi um tecido de polietileno tereftalato (PET) com padronagem tela e gramatura de $120,5 \text{ g/m}^2$. A escolha do substrato deve-se a fatores como a alta resistência à tensão e abrasão, durabilidade, resiliência, flexibilidade, baixo custo e sua importante participação no mercado. Com a finalidade de remover as impurezas presentes na sua superfície, o substrato foi previamente lavado a 40°C durante 30 minutos, com 1% de detergente não iônico (Kieralon/BASF) e razão de banho de 50:1. Em seguida, as amostras do tecido de PET foram cortadas nas dimensões $12 \times 12 \text{ cm}$ e acondicionadas de acordo com a norma ASTM D1776 antes do processo de deposição física dos nanorevestimentos.

2.2 Síntese dos nanorevestimentos Os nanorevestimentos de dióxido de titânio (TiO_2) dopado com prata (Ag) foram sintetizados pela técnica de Deposição Física de Vapor (PVD). De forma que foram depositados sobre o tecido de PET, previamente preparado, por meio de uma fonte de alimentação DC pulsada bipolar (Advanced Energy Plus 5k Pinnacle DC pulsada), ilustrada na Figura abaixo à temperatura ambiente. A amostra de tecido de PET foi colocada no porta-substrato a uma distância de 60 mm do alvo de titânio puro (99,9%). Em seguida, a câmara de deposição foi fechada dando início à formação do vácuo por meio da abertura, do fechamento automático das válvulas e de um sistema combinatório de uma bomba rotativa (Alcatel ANNECY Ty-2033) e uma bomba de difusão (Edwards EO4, PS), que trabalham juntas até estabilizar a pressão antes da deposição em 10^{-5} mbar . Em seguida, a câmara de deposição foi evacuada até uma pressão base de $1 \times 10^{-3} \text{ mbar}$. O gás argônio puro (99,9%) foi então introduzido, e foi aplicada uma densidade de corrente (J) de 10 mA.cm^{-2} . Desta forma um campo elétrico entre o cátodo e o ânodo foi configurado, dando início ao processo de ionização do argônio. Antes de iniciar o processo de deposição, foi feito um pré-sputtering a um fluxo de argônio de $15 \text{ cm}^3.\text{min}^{-1}$, pressão de $6 \times 10^{-3} \text{ mbar}$, durante 5 minutos com o shutter fechado para que fosse feita uma limpeza no alvo de titânio. Para evitar a formação de arcos, foi utilizada uma fonte de alimentação (Pinnacle Plus + 5 kW, Advanced Energy Industries Inc. FUA) em modo de energia operando com frequência de pulsos de 100 kHz e tempo reverso de $2 \mu\text{s}$, onde se observou a total eliminação dos arcos. Após o processo de limpeza do alvo, da estabilização da tensão de descarga, utilizou-se diferentes fluxos de argônio ($5, 15$ e $30 \text{ cm}^3.\text{min}^{-1}$) e após a sua estabilização, foi então introduzido na câmara o gás reativo, neste caso, o oxigênio com pureza de 99,9%. O resultado foi previamente otimizado e o melhor nanorevestimento, avaliado seu comportamento quanto à molhabilidade e fractal. Os nanorevestimentos foram efetuados em um tempo fixo de 30 minutos. Com todos esses parâmetros fixos, variou-se apenas a concentração do O_2 entre 1 e $10 \text{ cm}^3.\text{min}^{-1}$ para a obtenção de um

nanorevestimento de $\text{TiO}_2\text{-xAg}$. 2.3 Ângulo de contato com a água (CA) O equipamento Goniometer System OCA-15 com Software SCA 20 foi utilizado para avaliar a molhabilidade das amostras em estudo, a partir do ângulo de contato formado entre uma gota de água e a superfície do substrato. Uma câmara CCD foi utilizada para gravar a imagem da gota sobre a amostra. As amostras foram efetuadas de acordo com as normas específicas ASTM D5946-17 e ASTM D7304-17. Para a medição do ângulo de contato foi usado uma gota de água destilada com volume de 5 μl e vazão de 5 $\mu\text{l/s}$. Foram efetuadas 5 leituras em diferentes pontos do tecido e calculada a respectiva média aritmética. 2.4 Microscopia de Força Atômica (AFM) A técnica de microscopia de força atômica (AFM) foi utilizada para análises topográficas dos nanorevestimentos por meio do aparelho Nanoscope, Digital Instruments, com software Nanoscope® version 7.3 e Mountains Map® Premium version 8.2 (digital surf). As imagens foram obtidas com o microscópio operando no modo de não contato (método não destrutivo de análise), com ponta de silício, força constante de 17 N/m e vibrando numa frequência de ressonância de 320 kHz. A região de varredura ficou compreendida entre 1 x 1 μm^2 e 2 x 2 μm^2 e a topografia foi caracterizada através da rugosidade média quadrática dos desvios do perfil topográfico em relação a um plano médio (R_{rms}). 2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para geração de imagens da superfície das amostras dos tecidos de PET nanorevestidos por meio do microscópio eletrônico de varredura ambiental de alta resolução (Schottky) FEG-ESEM / EDS / EBSD-Leica, Cambridge S360 equipado com sistema de microanálise de energia dispersiva espectroscopia (EDS). As amostras foram recobertas com ouro para garantir a geração de imagens de ótimo contraste, uma vez que o princípio de funcionamento do MEV é feito pela varredura da amostra por um feixe de elétrons. 2.6 A relação entre rugosidade, dimensão fractal e super-hidrofobicidade dos filmes No início da última década do século passado, Hazlett encontrou uma relação direta entre a rugosidade e o equilíbrio energético das superfícies com a geometria fractal dessas mesmas superfícies em escalas micro e nano. – Ângulo de contato sobre uma superfície fractal. Outro resultado significativo deve-se ao trabalho de Onda et al onde se obtiveram ângulos de contato que chegaram a 174° na superfície constituída pelo dímero de alquil ceteno (AKD), um tipo de cola muito utilizada na indústria do papel. De acordo com estes autores, os resultados de super-hidrofobicidade devem-se, nestes materiais de baixa energia, à presença de estruturas de características fractais. Com o crescimento do desenvolvimento dos aparelhos de caracterização em escala nanométrica, o conceito de geometria fractal tem vindo a ser dopado para caracterizar a morfologia superficial.

Resultados e Discussões

3.1 Análise de AFM rugosidade da Superfície Para a análise da rugosidade da superfície (R_q), foi utilizado o software Nanoscope 6.13R1 que nos permitiu avaliar a rugosidade das amostras sem revestimento e com o nanorevestimento. A Figura 4 apresenta as imagens de AFM para as amostras de PET sem tratamento, filme com TiO_2 e PET tratado com $\text{TiO}_2\text{-Ag}$. Percebemos que há uma variação considerável na uniformidade e densidade relativa da superfície, além disso, percebemos que o valor de rugosidade subiu de 10,4 nm para 39,2 nm e a presença de vales na superfície também é vista. Isso se deve a leitura de skewness apresentar valor negativo, indicando assim uma quantidade de vales mais presente na superfície com o nanorevestimento. O

relacionamento, pelos investigadores anteriormente referidos, da rugosidade com a dimensão fractal, permite utilizar esta dimensão na quantificação da super-hidrofobicidade, utilizando softwares específicos, no tratamento de imagens topográficas das superfícies, feitas por microscopia de força atômica (AFM). Esta técnica tem-se revelado um instrumento poderoso no processo de desenvolvimento das superfícies super-hidrofóbicas artificiais. Por esse motivo existem inúmeros trabalhos que investigam e exploram as propriedades fractais dos nanorevestimentos. É sabido que a dimensão fractal D_f de uma superfície sólida pode ser calculada por vários caminhos. No presente trabalho, a análise fractal foi realizada utilizando o software SPIP software SPIPTM 8.2 (Image Metrology, Denmark), com base nas imagens com escala de $2\ \mu\text{m}$ obtidas por AFM. Este software é muito utilizado para o cálculo de dimensão fractal em estudos envolvendo físico-química de superfície, como a molhabilidade. A dimensão fractal média (MDF) é avaliada por meio da análise do espectro de amplitude de Fourier. A partir das imagens de AFM, o software extrai o perfil de Fourier correspondentes aos diferentes ângulos e são calculadas as coordenadas logarítmicas da frequência (f) e amplitude (r). – Espectro angular obtido a partir da imagem AFM correspondente a uma área de estudo de $2 \times 2\ \mu\text{m}^2$: dimensão fractal média (MDF).

3.2 Análise de Ângulo de Contato (CA) Com o auxílio do equipamento Goniometer System OCA-15 com Software SCA 20, foram investigados a molhabilidade do PET sem tratamento, com tratamento de TiO_2 e com o nanorevestimento de $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ utilizando a técnica de ângulo de contato (CA). De acordo com a Figura 5, observamos que após a gota cair na superfície (a) do PET sem tratamento, ele apresentou um CA baixo de 98° , resultando em uma hidrofobicidade esperada do tecido. Por outro lado, a amostra (b) contendo TiO_2 no PET, percebemos um aumento no ângulo de contato 102° . Isso se deve ao aumento da rugosidade da superfície com a adição do filme de TiO_2 . Por fim, percebemos que a maior hidrofobicidade se deu na amostra (c) contendo o nanorevestimento de $\text{TiO}_2\text{-Ag}$. Com a adição das nanopartículas de prata, podemos observar um aumento na rugosidade da superfície, provocando assim uma maior repelência da gotícula de água e um CA de 158° . Conforme investigado na seção anterior, com o aumento da rugosidade e também com a presença de vales na superfície do nanorevestimento, o oxigênio acaba sendo preso nessas regiões, impedindo que as gotas de água penetrem na superfície, de acordo com a literatura. - Ângulo de contato para (a) PET sem tratamento, (b) PET com TiO_2 e (c) com nanorevestimento de $\text{TiO}_2\text{-Ag}$.

3.3 Análise de MEV - FEG Na imagem de MEV-FEG, as amostras foram previamente revestidas com ouro para melhor obtenção de imagens. Na micrografia efetuada na fibra de PET, observa-se uma superfície lisa e baixa rugosidade, característica de fibras sintéticas como os poliésteres. Após o seu nanorevestimento sob o fluxo dos gases de trabalho O_2/Ar , a sua morfologia apresenta uma determinada mudança devido a presença de nanorevestimento de TiO_2 , conforme observa-se o espectro de EDS. Na micrografia da amostra de PET/ TiO_2 , observa-se a presença do nanofilme de dióxido de titânio e uma pequena alteração na sua microestrutura quando comparada com a amostra controle. Um nanorevestimento homogêneo de TiO_2 foi obtido e a presença do semiconductor é comprovada por EDS.

3.4 Análise da dimensão fractal x molhabilidade O comportamento da microestrutura dos materiais e sistemas podem ser caracterizados quantitativamente usando a ideia de distribuição e agregados fractais. O conceito de fractabilidade é uma importante ferramenta para caracterizar a geometria e a estrutura de superfícies de materiais heterogêneos, pois pode fornecer um meio útil de se obter informações importantes sobre a estrutura morfológica do material e suas respectivas unidades repetidas. Nas

imagens de AFM obtidas na seção anterior, observa-se com nitidez a existência de nanopartículas e vales nas amostras de PET nanorevestidas com TiO_2 e TiO_2 dopado com prata, quando comparado com a amostra padrão de PET. Essa mudança estrutural é a grande responsável pelas alterações na rugosidade e é a responsável pela influência da rugosidade e dos agregados fractais na obtenção duma superfície super-hidrofóbica. As pesquisas destas propriedades são também importantes para a compreensão dos fenômenos da molhabilidade em nanorevestimentos, já que é uma realidade a utilização destes nanomateriais hoje e futuramente. Com a ajuda do pacote de software SPIP™ foi possível investigar a auto-similaridade (fractais não ideais) e a isotropia/anisotropia dos agregados fractais nas amostras de PET nanorevestidas. A dimensão fractal média (MFD), calculada em diferentes ângulos por meio da análise do espectro de amplitude de Fourier para todos os nanorevestimentos. Esta etapa foi uma abordagem útil para complementar a avaliação morfológica da superfície das fibras de PET. Verifica-se que os valores de dimensão fractal média aumentam seguindo a mesma tendência da rugosidade (RMS). De acordo com os espectros de amplitudes obtidos, todas as superfícies com e sem nanorevestimento exibem um comportamento auto-similar, uma vez que todos apresentam parâmetros de textura, como isotropia de textura (S_{ui}), a qual matematicamente é definida como a soma da amplitude média dividida pela soma da amplitude numa direção dominante). A amostra de PET apresenta baixa isotropia de textura, isso significa que a soma das amplitudes em todas as direções é semelhante e a textura da superfície apresenta comportamento isotrópico. E, correspondente a amostra de PET sem nanorevestimento, observa-se um baixo valor de dimensão fractal (2,162). Esse valor é devido a superfície apresentar baixa rugosidade média, picos e depressões quase inexistentes com baixa profundidade. O que comprova o comportamento levemente hidrofóbico do tecido de PET. (a) Dimensão fractal, (b) parâmetros de área/volume e (c) rugosidade do PET. A relação entre os parâmetros do aspecto de textura das amostras de PET nanorevestida com TiO_2 e TiO_2 -xAg podem ser usadas para identificar a sua uniformidade. De acordo com os dados obtidos todos os índices de textura encontrados foram significativos com isotropia de textura de até 60,9%, para a amostra de PET/ TiO_2 . E estes valores podem confirmar que a textura espacial é perfeitamente isotrópica. (a) parâmetros isotrópicos e (b) parâmetros de textura. Observa-se ainda a dependência desses parâmetros fractais com a rugosidade. E com isso, o tecido de PET nanorevestido com TiO_2 apresenta maior dimensão fractal (2,536), maior quantidade de depressões, picos e formação de vales. Esse comportamento altera sua molhabilidade e o caracteriza com hidrofobicidade média. Mas toda essa alteração superficial ainda não é suficiente para que se tenha uma menor energia livre de Gibbs que facilite a super-hidrobicidade. (a) dimensão fractal, (b) parâmetros de área/volume e (c) rugosidade do PET/ TiO_2 . Para a amostra de tecido de PET nanorevestido com TiO_2 -xAg, observa-se uma diminuição na isotropia da textura, um aumento da dimensão fractal (2,62) e um grande aumento de depressões, picos, volume de profundidade e clusters, o que ocasiona uma maior rugosidade média. Estes resultados comprovam a relação direta previamente proposta nos estudos de Hazllet e Onda et al entre a rugosidade e o equilíbrio energético das superfícies com dimensão fractal dos nanorevestimentos. Quanto maior a rugosidade menor é o S_{di} e o S_{tr} , ou seja, menos uniforme será a textura do nanorevestimento, elevando a sua dimensão fractal e por consequência, maior a probabilidade de se ter um nanorevestimento com “efeito Lótus”. Os resultados obtidos por meio de análise de AFM demonstraram a importância da topografia e da dimensão fractal na obtenção de uma superfície super-hidrofóbica. Essa relação foi previamente proposta pelo modelo de Cassie-Baxter em

estudos anteriores efetuados sobre substrato têxtil. Publicado em 1945, baseia-se na hipótese de que numa dada superfície áspera, a água fica suspensa sobre as rugosidades da superfície, e que o ângulo de contato aparente pode ser resultado de contribuições das diferentes fases que compõem a superfície.

3.4 Análise da dimensão fractal x molhabilidade

O comportamento da microestrutura dos materiais e sistemas podem ser caracterizados quantitativamente usando a ideia de distribuição e agregados fractais. O conceito de fractabilidade é uma importante ferramenta para caracterizar a geometria e a estrutura de superfícies de materiais heterogêneos, pois pode fornecer um meio útil de se obter informações importantes sobre a estrutura morfológica do material e suas respectivas unidades repetidas. Nas imagens de AFM obtidas na seção anterior, observa-se com nitidez a existência de nanopartículas e vales nas amostras de PET nanorevestidas com TiO_2 e TiO_2 dopado com prata, quando comparado com a amostra padrão de PET. Essa mudança estrutural é a grande responsável pelas alterações na rugosidade e é a responsável pela influência da rugosidade e dos agregados fractais na obtenção duma superfície super-hidrofóbica. As pesquisas destas propriedades são também importantes para a compreensão dos fenômenos da molhabilidade em nanorevestimentos, já que é uma realidade a utilização destes nanomateriais hoje e futuramente. Com a ajuda do pacote de software SPIP™ foi possível investigar a auto-similaridade (fractais não ideais) e a isotropia/anisotropia dos agregados fractais nas amostras de PET nanorevestidas. A dimensão fractal média (MFD), calculada em diferentes ângulos por meio da análise do espectro de amplitude de Fourier para todos os nanorevestimentos. Esta etapa foi uma abordagem útil para complementar a avaliação morfológica da superfície das fibras de PET. Verifica-se que os valores de dimensão fractal média aumentam seguindo a mesma tendência da rugosidade (RMS). De acordo com os espectros de amplitudes obtidos, todas as superfícies com e sem nanorevestimento exibem um comportamento auto-similar, uma vez que todos apresentam parâmetros de textura, como isotropia de textura (S_{ui}), a qual matematicamente é definida como a soma da amplitude média dividida pela soma da amplitude numa direção dominante). A amostra de PET apresenta baixa isotropia de textura, isso significa que a soma das amplitudes em todas as direções é semelhante e a textura da superfície apresenta comportamento isotrópico. E, correspondente a amostra de PET sem nanorevestimento, observa-se um baixo valor de dimensão fractal (2,162). Esse valor é devido a superfície apresentar baixa rugosidade média, picos e depressões quase inexistentes com baixa profundidade. O que comprova o comportamento levemente hidrofóbico do tecido de PET.

(a) Dimensão fractal, (b) parâmetros de área/volume e (c) rugosidade do PET. A relação entre os parâmetros do aspecto de textura das amostras de PET nanorevestida com TiO_2 e TiO_2 -xAg podem ser usadas para identificar a sua uniformidade. De acordo com os dados obtidos todos os índices de textura encontrados foram significativos com isotropia de textura de até 60,9%, para a amostra de PET/ TiO_2 . E estes valores podem confirmar que a textura espacial é perfeitamente isotrópica. (a) parâmetros isotrópicos e (b) parâmetros de textura. Observa-se ainda a dependência desses parâmetros fractais com a rugosidade. E com isso, o tecido de PET nanorevestido com TiO_2 apresenta maior dimensão fractal (2,536), maior quantidade de depressões, picos e formação de vales. Esse comportamento altera sua molhabilidade e o caracteriza com hidrofobicidade média. Mas toda essa alteração superficial ainda não é suficiente para que se tenha uma menor energia livre de Gibbs que facilite a super-hidrofobicidade. (a) dimensão fractal, (b) parâmetros de área/volume e (c) rugosidade do PET/ TiO_2 . Para a amostra de tecido de PET nanorevestido com TiO_2 -xAg, observa-se uma diminuição na isotropia da textura,

um aumento da dimensão fractal (2,62) e um grande aumento de depressões, picos, volume de profundidade e clusters, o que ocasiona uma maior rugosidade média. Estes resultados comprovam a relação direta previamente proposta nos estudos de Hazlett e Onda et al entre a rugosidade e o equilíbrio energético das superfícies com dimensão fractal dos nanorevestimentos. Quanto maior a rugosidade menor é o Sdi e o Str, ou seja, menos uniforme será a textura do nanorevestimento, elevando a sua dimensão fractal e por consequência, maior a probabilidade de se ter um nanorevestimento com “efeito Lótus”. Os resultados obtidos por meio de análise de AFM demonstraram a importância da topografia e da dimensão fractal na obtenção de uma superfície super-hidrofóbica. Essa relação foi previamente proposta pelo modelo de Cassie-Baxter em estudos anteriores efetuados sobre substrato têxtil. Publicado em 1945, baseia-se na hipótese de que numa dada superfície áspera, a água fica suspensa sobre as rugosidades da superfície, e que o ângulo de contato aparente pode ser resultado de contribuições das diferentes fases que compõem a superfície.

Conclusão

Os materiais super hidrofóbicos têm ganhado cada vez mais atenção nas pesquisas recentes. Devido aos elevados ângulos de contato, esses materiais conseguem repelir água e outros líquidos sem necessitar de produtos químicos ou processos para auxiliar nessa autolimpeza. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da molhabilidade com a análise da superfície do material têxtil dopado com TiO₂-Ag através da análise de fractais. Conforme avaliado, de acordo com o aumento da fractabilidade da superfície, a molhabilidade é alterada, de forma que, conforme a rugosidade da superfície aumenta e a presença de picos e vales, o ângulo de contato tende a aumentar também. O nanorevestimento mostrou-se eficaz ao fazer o teste de ângulo de contato obtendo 158°, comprovando que o material é super hidrofóbico. Além disso, com a adição da prata à superfície, pode observar que o aumento da rugosidade do filme depositado foi considerável, comprovando que o metal utilizado é uma boa possibilidade de material para utilização desse nanorevestimento.

Referências

1. WU, Shenghe et al. Multifunctional solar water-way... Published Self-Cleaning Journal 2012, 1, n. 4, p. 190.
2. LAATTHE, Sanjay S. et al. Hydrophobic and hydrophilic coatings: Potential industrial applications. Progress in Organic Coatings, v. 80, n. 4, p. 58.
3. IDACHI, Talal et al. Photocatalytically enhanced self-cleaning TiO₂ coating on cheap... Published Self-Cleaning Journal, 2018, v. 1, n. 458.
4. MAHAJAN, Surendra et al. Hydrophobic, flame-retardant and conductive cotton fabrics via layer-by-layer assembly of carbon nanotubes for flexible sensing electronics. Cellulose, 2020, 27, 6, 3455-3468.
5. XIE, Chao-Hua, et al. Fabrication of superhydrophobic nanocoating on glass: A scalable manufacturing process. Materials Chemistry and Physics, v. 239, p. 122000, 2020.
6. SINGH, Anu K.; SINGH, Jayant K. Fabrication of durable super-repellent surfaces on cotton fabric with liquids of varying surface tension: low surface energy and high roughness. Applied Surface Science, v. 416, p. 639-648, 2017.
7. NEINHUS C.; BARTHOLOTT W. Characterization and distribution of water-repellent,

self-cleaning plant surfaces. *Annals of Botany*, 1997, 796, 667-667. 8. ZHANG, Yong Lai, et al. Recent developments in superhydrophobic surfaces with unique structural and functional properties. *Soft Matter*, 2012, 841, 1217-1231. 9. LEE, H. J. Improving superhydrophobic textile materials: Functional textiles for improved performance. *Protection and Health*, 2011, p. 339-359. 10. LIU, Yuayang; XIN, John Haozheng; CHOI, Chang-Hwan. Cotton fabrics with single-faced superhydrophobicity. *Langmuir*, v. 28, n. 47, p. 17426-17434, 2012. 11. MUI, Tanny She; Mir et al. Uniform surface modification of polyethylene terephthalate (PET) by atmospheric pressure plasma jet with a born-like nozzle. *Surface and Coatings Technology*, v. 352, p. 388-397, 2018. 12. BARMAN, Nabo Kumar; BHATTACHARYA A. Someshwar S.; MANDOT Aadhar. Mechanical durability of superhydrophobic cotton fabrics for rain-resistant clothing. *Polym. Technol.*, 2020, 1(4), 4825-2015. 13. SAROGLU, Esra; KAYNAK, Hatice Kubra. PET bottle recycling for sustainable textile in polyester-production, characterization and innovative applications. London: Intech Open, 2017. 14. JIM, K.; JIM, TAN. Bowen. The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid) *Advanced Biomedical Engineering Journal*, 2020, 3, 2, 60-70. 15. DA SILVA, Dana et al. Biocompatibility, biodegradation and excretion of poly(lactic acid) (PLA) in medical implants and biocomposites. *Journal of Chemical Engineering Journal*, 2018, 340, 9-14. 16. CHU, Chuntian, et al. Electrostatic powder spraying process for the fabrication of stable superhydrophobic surfaces. *Applied Surface Science*, 2011, 257, 10, 4586-4588. 17. JANNATUN, Nahar, et al. A facile cross-linking approach to fabricate durable and self-healing superhydrophobic coatings of SiO₂-PVA @ PDMS on cotton textile. *European Polymer Journal*, 2020, 13, 109836. 18. SU, Nichita, et al. Vapor with liquid sol-gel approach to fabricate highly durable and robust superhydrophobic surfaces. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 2017, 9, 33, 28089-28099. 19. XIE, Chao-Hua et al. Superhydrophobic, flame-retardant and conductive cotton fabrics via layer-by-layer assembly of carbon nanotubes for flexible sensing electronics. *Cellulose*, 2020, 27, 6, 3455-3468. 20. XIE, Chao-Hua, et al. Fabrication of superhydrophobic nanocoating on glass: A scalable manufacturing process. *Materials Chemistry and Physics*, v. 239, p. 122000, 2020.

CÓDIGO: ET1330

AUTOR: MARIA CLARA MARTINS LOURENCO

ORIENTADOR: JOSE HERIBERTO OLIVEIRA DO NASCIMENTO

TÍTULO: Caracterização de nanorevestimentos superhidrofóbicos sobre fibras têxteis via PVD pulsado assimétrico bipolar

Resumo

Este trabalho teve como objetivo caracterizar nanorevestimentos superhidrofóbicos obtidos por deposição física de vapor (PVD) pulsado assimétrico bipolar sobre fibras de PLA. A metodologia envolveu planejamento experimental fatorial, análises de superfície de resposta (RSM) e caracterizações por AFM e XPS, que permitiram correlacionar parâmetros de deposição, composição química e morfologia com as propriedades de molhabilidade. Os resultados mostraram que o aumento do fluxo de argônio e do tempo de deposição, aliado à redução da potência, favoreceu a formação de nanorevestimentos enriquecidos em grupos fluorocarbonados e com maior rugosidade superficial, resultando em ângulos de contato superiores a 150°. A amostra otimizada apresentou efeito “lótus” estável e repelência eficiente a diferentes líquidos, confirmando a obtenção de superfícies superhidrofóbicas funcionais. Conclui-se que a técnica de PVD pulsado representa uma alternativa promissora para o desenvolvimento de materiais autolimpantes e anticontaminantes, com potencial aplicação em setores têxteis e biomédicos.

Palavras-chave: Superhidrofobicidade. PVD pulsado. Nanorevestimentos. PLA.
Efeito Lótus

TITLE: Characterization of superhydrophobic nanocoatings on textile fibers via bipolar asymmetric pulsed PVD

Abstract

This work aimed to characterize superhydrophobic nanocoatings obtained by bipolar asymmetric pulsed physical vapor deposition (PVD) on PLA fibers. The methodology involved factorial experimental design, response surface analysis (RSM), and AFM and XPS characterizations, which allowed correlating deposition parameters, chemical composition, and morphology with wettability properties. The results showed that increasing the argon flow and deposition time, combined with reducing the power, favored the formation of nanocoatings enriched in fluorocarbon groups and with greater

surface roughness, resulting in contact angles greater than 150° . The optimized sample exhibited a stable "lotus" effect and efficient repellency to different liquids, confirming the achievement of functional superhydrophobic surfaces. We conclude that the pulsed PVD technique represents a promising alternative for the development of self-cleaning and anti-contamination materials, with potential application in the textile and biomedical sectors.

Keywords: Superhydrophobicity. Pulsed PVD. Nanocoatings. PLA. Lotus Effect

Introdução

O estudo da molhabilidade das superfícies tem despertado interesse crescente ao longo dos últimos séculos, desde as primeiras observações feitas por Galileu em 1612 e os avanços de Thomas Young em 1805, que relacionaram o ângulo de contato com o comportamento de líquidos sobre sólidos [1,2]. Esse fenômeno, que envolve aspectos de físico-química de superfícies, adsorção e termodinâmica, tornou-se fundamental para explicar propriedades como aderência, lubrificação, anticorrosão e resistência ao desgaste em diferentes materiais [3,4]. A caracterização da molhabilidade é usualmente realizada pela medida do ângulo de contato (θ), definindo superfícies super-hidrofílicas quando o ângulo é próximo de zero e super-hidrofóbicas quando ultrapassa 150° [4].

As superfícies superhidrofóbicas, em particular, têm atraído atenção considerável da comunidade científica e do setor industrial devido às suas propriedades autolimpantes, anticontaminantes e de repelência a água e óleo. Essas características as tornam aplicáveis em diversas áreas, como membranas de separação líquido-líquido [6,7] e biochips para diagnósticos genéticos [5]. O fenômeno de superhidrofobicidade, inspirado em estruturas naturais como a folha de lótus, passou a ser investigado em detalhe a partir dos trabalhos de Barthlott e Neinhuis, que impulsionaram o campo da biomimética [8]. Nesse contexto, compreender a relação entre rugosidade superficial, geometria fractal e molhabilidade tornou-se essencial para o desenvolvimento de superfícies funcionais avançadas.

Nos substratos têxteis, a obtenção de propriedades superhidrofóbicas é um desafio adicional, uma vez que tecidos e fibras apresentam elevada heterogeneidade estrutural e química. Para descrever a interação entre líquidos e superfícies rugosas, dois modelos clássicos são amplamente empregados: o modelo de Wenzel, que considera a penetração completa do líquido nas microestruturas, e o modelo de Cassie-Baxter, que descreve o aprisionamento de ar entre as rugosidades e o consequente aumento do ângulo de contato [9,10]. Ambos os modelos fornecem bases teóricas importantes para analisar o desempenho de revestimentos hidrofóbicos em fibras têxteis.

Com o avanço da nanotecnologia, diferentes materiais e técnicas foram aplicados para modificar substratos têxteis visando à obtenção de superhidrofobicidade. Entre os materiais utilizados destacam-se nanopartículas de sílica, óxidos metálicos, fluoropolímeros e derivados do politetrafluoretileno (PTFE) [11]. Muitas abordagens químicas, como sol-gel e deposição assistida por solventes, já foram aplicadas a fibras

naturais e sintéticas. No entanto, tais métodos apresentam limitações importantes: são processos lentos, pouco duráveis frente à abrasão e lavagem, e frequentemente geram grandes volumes de efluentes contendo nanopartículas, o que compromete a sustentabilidade ambiental.

Devido a essas limitações, métodos físicos têm se destacado como alternativas mais limpas e eficazes para deposição de nanorevestimentos. Entre eles, a deposição física de vapor (PVD) e, em particular, a técnica de magnetron sputtering, têm se mostrado promissoras por permitirem a obtenção de filmes uniformes, com boa adesão, controle de espessura e mínima geração de resíduos [12]. Entretanto, quando o alvo a ser pulverizado é dielétrico, como o PTFE, técnicas convencionais de corrente contínua (DC sputtering) ou rádio frequência (RF sputtering) podem apresentar problemas como acúmulo de cargas e formação de arcos elétricos, prejudicando a qualidade do revestimento [13].

Nesse cenário, esta pesquisa busca caracterizar nanorevestimentos superhidrofóbicos em fibras têxteis obtidos por PVD pulsado assimétrico bipolar, avaliando como parâmetros de deposição influenciam a morfologia, composição e desempenho funcional dos materiais. Além de contribuir ao avanço científico, propõe uma alternativa sustentável para o desenvolvimento de têxteis inovadores, combinando alto desempenho e menor impacto ambiental.

Metodologia

1- Síntese e caracterização do PTFE sobre PET via PVD/PMS

O substrato têxtil utilizado neste estudo foi um tecido 100% PET, com gramagem de $182 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ e título de 19,67 tex. A escolha do PET se deu por ser um polímero sintético com boa estabilidade química e resistência mecânica, adequado para servir como suporte de nanorevestimentos superhidrofóbicos. Para garantir uma superfície limpa e uniforme, o tecido foi previamente lavado a 40°C durante 30 minutos em solução contendo 1% de detergente não iônico, seguido de enxágue e secagem. Em seguida, as amostras foram cortadas em pedaços de $10 \times 10 \text{ cm}$, prontos para o processo de deposição do nanorevestimento.

Os nanorevestimentos foram sintetizados e depositados sobre o tecido de PLA previamente preparado utilizando uma fonte de alimentação DC pulsada bipolar (Advanced Energy Plus 5k Pinnacle DC pulsada). O alvo empregado consistiu em PTFE (politetrafluoroetileno) puro, 99,99%, montado sobre o cátodo, com 80 mm de diâmetro e 5 mm de espessura. O gás de trabalho utilizado para o bombardeamento iônico do alvo foi o argônio, aplicado em diferentes fluxos.

As amostras de PLA foram posicionadas no porta-substrato a uma distância de 60 mm do alvo de PTFE, e a câmara de sputtering foi evacuada até 10^{-5} mbar por meio de um sistema combinado de bomba rotativa (Alcatel ANNECY Ty-2033) e bomba de difusão (Edwards EO4, PS), garantindo o alto vácuo necessário para o processo. Antes da deposição, procedeu-se à limpeza do alvo de PTFE durante 5 minutos, em $1 \times 10^{-3} \text{ mbar}$ e atmosfera

de argônio, a fim de remover eventuais camadas contaminantes de sua superfície. O sistema de vácuo e a câmara estão esquematizados na Figura 1:

A deposição foi conduzida variando os parâmetros de trabalho, incluindo potência, fluxo de argônio, fase reversa e tempo de tratamento, com o objetivo de avaliar suas influências na formação e nas propriedades químicas e morfológicas dos nanorevestimentos. Após o tratamento, as amostras foram armazenadas individualmente em sacos plásticos e mantidas em um dessecador para preservação.

2- Obtenção dos nanorevestimentos e otimização dos fatores

A otimização dos nanorevestimentos foi realizada por meio de Design Experimental, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) para analisar a influência de múltiplos parâmetros de deposição sobre o ângulo de contato (θ) das amostras. Foram investigadas quatro variáveis independentes: potência de RF (A), fluxo de argônio (B, $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$), fase reversa (C, %) e tempo de deposição (D, minutos), cada uma em dois níveis e um ponto central, com corrente elétrica fixa de 0,3 A. Como pode-se ver na tabela 1:

O planejamento experimental utilizou um modelo fatorial 2^4 e o software Design-Expert 8.0.4 para gerar superfícies de resposta (RSM), permitindo avaliar as interações das variáveis e identificar as condições ótimas para maximizar o ângulo de contato. O ajuste do modelo foi avaliado por meio do coeficiente de regressão (R^2) e a significância estatística dos coeficientes foi verificada pelos testes de Fischer (F) e t de Student, considerando um nível de significância inferior a 0,05. A metodologia possibilitou determinar de forma objetiva a combinação de parâmetros que favorece a superhidrofobicidade dos nanorevestimentos de PTFE sobre fibras têxteis.

3- Caracterização dos nanorevestimentos

As amostras de PET nanorevestidas com PTFE foram submetidas à medição do ângulo de contato (CA) para caracterização da hidrofilicidade ou hidrofobicidade. Para isso, utilizou-se o Goniometer System OCA-15, acoplado ao software SCA 20, com câmera CCD para registro das imagens das gotas sobre a superfície do tecido. Os ensaios foram realizados em condições ambientais controladas.

O volume da gota de água utilizado foi de 5 μL , dispensado a uma vazão de 5 $\mu\text{L/s}$, sendo realizadas cinco medições em diferentes pontos da amostra (figura 2), das quais foi calculada a média aritmética com erro de $\pm 0,2^\circ$. Essa metodologia permitiu avaliar tanto o grau de hidrofobicidade quanto o comportamento dinâmico da gota sobre o tecido ao longo do tempo.

Além disso, foram determinadas as energias livres de superfície das amostras a partir dos resultados dos ângulos de contato, considerando as componentes polar (L_p) e dispersiva (L_d) da água ($L_V=72,8$ mN/m; $L_p=51$ mN/m; $L_d=21,8$ mN/m) e do diiodometano ($L_V=50,8$ mN/m; $L_p=1,3$ mN/m; $L_d=49,5$ mN/m). O cálculo da energia livre de superfície foi realizado pelo software SCA 20, utilizando os ângulos de contato da água e do diiodometano, bem como suas componentes polar e dispersiva.

A caracterização química dos nanorevestimentos de PTFE sobre PET foi realizada por Espectroscopia de Fotoelétrons de Raios X (XPS), utilizando o equipamento VG Scientific ESCALAB 200 (UK) em ambiente de ultra-vácuo ($\sim 10^{-8}$ Torr), com radiação $K\alpha$ do Al a 15 kV. Os espectros de C1s e F1s foram obtidos com passagem de energia de 20 eV e calibrados em 284,8 eV ($\pm 0,2$ eV), correspondentes à ligação C–C. A deconvolução dos picos permitiu identificar grupos funcionais característicos do PTFE, como –C–CF, –CF₂ e –CF.

As análises morfológicas foram realizadas por Microscopia de Força Atômica (AFM), utilizando o Nanoscope III (Digital Instruments) operando no modo de não contato, com ponta de silício, força constante de 17 N/m e frequência de ressonância de 320 kHz. As imagens foram obtidas em uma área de $2 \times 2 \mu\text{m}^2$, e a topografia da superfície foi caracterizada pela rugosidade média quadrática (Rq) (figura 3).

Além disso, a dimensão fractal média (MDF) da superfície foi calculada a partir das imagens de AFM utilizando o software SPIP 5.1.6, por meio da análise do espectro de amplitude de Fourier, de acordo com a equação:

$$D=2-[d(\log M)/d(\log r)]$$

Essa análise permitiu avaliar a complexidade da morfologia dos nanorevestimentos e compreender melhor os fenômenos relacionados à superhidrofobicidade.

Resultados e Discussões

1- Análise estatística por planejamento experimental 2⁴

A análise estatística do processo foi conduzida por meio de um planejamento fatorial 2⁴ com ponto central, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (RSM). A variável resposta considerada foi o ângulo de contato (CA) das fibras de PLA recobertas com PTFE, sendo avaliados os efeitos da potência, fluxo de argônio, fase reversa e tempo de deposição, conforme ilustrados na Tabela 2:

De acordo com o diagrama de Pareto (Figura 4), observou-se que as variáveis de potência (A), fluxo de argônio (B) e tempo de deposição (D), além da interação entre fluxo de argônio e tempo (AB), apresentaram influência estatisticamente significativa sobre a resposta, ao nível de confiança de 95%. A fase reversa (C), por sua vez, não apresentou efeito relevante no intervalo estudado, atuando apenas para evitar a formação de arcos durante o processo.

Os resultados indicaram que valores mais elevados de fluxo de argônio e maior tempo de deposição favorecem a obtenção de superfícies superhidrofóbicas, enquanto o aumento da potência exerce efeito negativo sobre o ângulo de contato.

A análise de variância (ANOVA) demonstrou que o modelo estatístico proposto apresentou elevado coeficiente de regressão ($R^2 \approx 0,98$) e boa concordância entre valores previstos e experimentais (Figura 5), confirmando a adequação do modelo matemático para descrever o comportamento da resposta. Tabela 3 – Análise de Variância (ANOVA) para a resposta ângulo de contacto.

2 – Avaliação e mapeamento dos parâmetros do processo RSM e caracterização físico-química da superfície

A metodologia de superfície de resposta (RSM) foi utilizada como ferramenta estatística para avaliar a influência dos parâmetros de deposição sobre as fibras de PLA. Este método permite visualizar de forma clara as interações entre variáveis do processo e sua relação com a resposta ângulo de contato, através de representações gráficas em duas e três dimensões.

Na Figura 6, observa-se a superfície de resposta tridimensional representando a influência conjunta da potência de deposição e do fluxo de argon sobre a superhidrofobicidade das fibras, para um tempo fixo de deposição de 30 minutos e fase reversa de 1%. Os resultados indicam que menores valores de potência, aliados ao aumento do fluxo de argon, favorecem o crescimento do ângulo de contato, confirmando o comportamento superhidrofóbico.

A análise prática deste comportamento é evidenciada pela Figura 7, que apresenta a imagem de uma amostra de PLA após o nanorevestimento, com ângulo de contato de aproximadamente 143° . Esse resultado demonstra a transição efetiva da superfície de hidrofílica para hidrofóbica, corroborando as tendências observadas na análise estatística e nos modelos de superfície de resposta.

Por fim, a caracterização físico-química da superfície foi realizada por espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X (XPS), permitindo identificar a composição elementar e os grupos moleculares presentes no revestimento. A Figura 8 mostra o espectro obtido nas condições otimizadas de deposição (potência mínima e maior fluxo de argon), onde se observa um enriquecimento da superfície em grupos fluorocarbonados (-CF_x). Esse resultado se traduz em um aumento da razão F/C de 1,34 para 1,91, confirmando a diminuição da energia de superfície e, conseqüentemente, a obtenção de um comportamento superhidrofóbico estável.

Dessa forma, os resultados combinados de RSM, medidas de ângulo de contato e análise por XPS evidenciam que a otimização do processo de deposição possibilita o desenvolvimento de superfícies de PLA nanorevestidas com elevado desempenho hidrofóbico

3 – Análise da morfologia do nanorevestimento por AFM

A microscopia de força atômica (AFM) foi empregada para avaliar a topografia e a rugosidade superficial das fibras de PLA antes e após o nanorevestimento com PTFE. Essa técnica permitiu relacionar a evolução morfológica da superfície com o comportamento de superhidrofobicidade observado.

Na Figura 9, correspondente à fibra de PLA sem tratamento, observa-se uma superfície bastante lisa, com rugosidade média próxima de 1,15 nm. Esse valor reduzido está associado ao caráter hidrofílico do material não revestido.

Após o processo de deposição, verificou-se aumento significativo da rugosidade em função dos parâmetros do processo. Na Figura 10, que representa a condição otimizada (baixa potência e alto fluxo de argon), a rugosidade atingiu valores muito superiores, acompanhada pela formação de aglomerados e cavidades nanométricas. Esse comportamento confirma que a presença de estruturas mais heterogêneas e rugosas favorece a obtenção do “Efeito Lotus”, essencial para o desenvolvimento de superfícies superhidrofóbicas.

De forma geral, os resultados obtidos por AFM demonstram que a rugosidade superficial é um fator determinante para a transição da hidrofobicidade para a superhidrofobicidade, validando a correlação entre os parâmetros de deposição, a morfologia e as propriedades funcionais do nanorevestimento.

4- Análise da dimensão fractal dos nanorevestimentos

A análise fractal constitui uma ferramenta importante para caracterizar a geometria e a heterogeneidade de superfícies nanorevestidas. No presente estudo, a microscopia eletrônica (Figura 11) evidenciou a presença de nanopartículas de diferentes tamanhos e formas, formando agregados sobre as fibras de PLA. Essa variação morfológica contribuiu diretamente para o aumento da rugosidade e para o desenvolvimento de estruturas fractais associadas ao comportamento superhidrofóbico.

Os valores da dimensão fractal média (MFD), apresentados na Tabela 4, mostraram uma clara correlação com a rugosidade observada anteriormente por AFM. Enquanto a amostra sem tratamento exibiu um valor de MFD reduzido (2,01), típico de uma superfície lisa, as amostras revestidas apresentaram valores progressivamente maiores, atingindo 2,37 para a condição de deposição otimizada. Esse resultado confirma que o aumento da rugosidade e da complexidade fractal favorece o efeito Lotus, essencial para a obtenção de superfícies superhidrofóbicas.

De forma resumida, a análise fractal demonstrou que superfícies com maior irregularidade geométrica apresentam maior potencial para repelência à água, complementando as observações de rugosidade e molhabilidade realizadas nas etapas anteriores.

5- Avaliação da superhidrofobicidade do nanorevestimento

Os resultados demonstraram que a superhidrofobicidade das fibras de PLA nanorevestidas está diretamente relacionada à rugosidade da superfície, em concordância com o modelo de Cassie–Baxter. As amostras com maiores ângulos de contato apresentaram maior fração de ar retido nos nanoporos e menor trabalho de adesão, confirmando o papel da topografia nanoestrutural na obtenção do efeito “lótus”.

De acordo com a Tabela 5, a amostra C exibiu os maiores ângulos de contato ($\theta > 150^\circ$), baixa energia superficial e elevada estabilidade, comprovando o comportamento

superhidrofóbico. Esse resultado foi reforçado pelo teste com diferentes líquidos (Figura 12), no qual a superfície apresentou repelência eficiente, característica fundamental para propriedades autolimpantes e anticontaminantes.

Conclusão

O trabalho teve como objetivo caracterizar nanorevestimentos superhidrofóbicos obtidos por PVD pulsado assimétrico bipolar sobre fibras de PLA. Os resultados confirmaram que o objetivo foi atingido, uma vez que as amostras apresentaram ângulos de contato superiores a 150°, baixa energia de superfície e efeito de repelência estável a diferentes líquidos, comprovando a obtenção do comportamento tipo “efeito lótus”.

A análise estatística mostrou que fluxo de argônio e tempo de deposição foram as variáveis mais relevantes, enquanto a potência elevada reduziu a hidrofobicidade. As técnicas de XPS, AFM e STEM reforçaram esses achados, evidenciando que a incorporação de grupos fluorocarbonados e o aumento da rugosidade superficial foram determinantes para a redução da energia livre da superfície e a melhora da molhabilidade. Assim, ficou clara a relação entre parâmetros de deposição, morfologia e propriedades funcionais do material.

Apesar dos resultados satisfatórios, o estudo apresenta limitações: os ensaios foram restritos a um tipo de substrato e não incluíram análises de durabilidade frente a desgaste mecânico ou ciclos de lavagem, essenciais para validar a aplicação prática. Como recomendações, sugerem-se trabalhos futuros que avaliem a estabilidade em condições reais de uso, a aplicação da técnica a outros substratos poliméricos e a análise da sustentabilidade do processo em comparação a métodos convencionais.

Em síntese, os resultados comprovam a viabilidade técnica do PVD pulsado para produzir superfícies superhidrofóbicas em fibras têxteis, representando uma alternativa promissora para o desenvolvimento de materiais autolimpantes e anticontaminantes, com potencial de aplicação em setores têxteis, biomédicos e de engenharia de superfícies.

Referências

- 1- Uelzen, T., Müller, J. 2003. Wettability enhancement by rough surfaces generated by thin film technology. Thin Solid Films. Vol.434. Pag. 311–315.
- 2- Good, R. J., 1992. Contact angle, wetting, and adhesion: a critical review. Journal of Adhesion Science and Technology. Vol. 6. Pag.1269-1302.
- 3- Roucoules, V., Gaillard, F., Mathia, T., Lanteri, P. 2002. Hydrophobic mechanochemical treatment of metallic surfaces. Wettability measurements as means of assessing homogeneity. Adv. in Colloids and Interf. Sciences. Vol. 97 Pag. 177-201.

- 4- Bico, J., Thiele, U., Queré, D. 2002. Wetting of textured surfaces. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. Vol. 206. Pag. 41-46.
- 5- Pipper, J., Zhang, Y., Neuzil, P., Hsieh, T- M. 2008. Clockwork PCR including sample preparation. *Angewandte Chemie International*. Vol. 47. Pag. 3900-3904.
- 6- Feng, L., Zhang, Z., Mai, Z., Ma, Y., Liu, B., Jiang, L., Zhu, D. 2004. A Super-hydrophobic and super-oleophilic coating mesh film for the separation of Oil and Water. *Angewandte Chemie International*. Vol. 43. Pag. 2012-2014.
- 7- Yuan, Y., Liu, X., Akbulut, O., Hu, J., Suib, S. L., Kong, J., Stellacci, F. 2008. Superwetting nanowire membranes for selective absorption. *Nature Nanotechnology*. Vol. 3. Pag. 332 – 336.
- 8- Barthlott, W., Neinhuis, C. 1997. Purity of the sacred Lotus, or escape from contamination in biological surfaces. *Planta*. Vol. 202. Pag. 1-8
- 9- Wenzel, R. N., 1936. Resistance of solid surfaces to wetting by water. *Industrial and Engineering Chemistry*. Vol. 2. Pag. 988-994.
- 10- Nosonovsky, M., Bharat, B. 2008. Roughness-induced superhydrophobicity: a way to design non-adhesive surfaces. *Journal of Physics: Condens. Matter*. Vol. 20. Pag. 225009.
- 11- Biederman, H., Stelmashuk, V., Kholodkov, I., Choukourov, A., Slavínská, D. 2003. RFSputtering of hydrocarbon polymers and their derivatives. *Surface and Coatings Technology*. Vol. 174-175. Pag. 27-32.
- 12- Liu, Y., Chen, X., Xin, J. H. 2008. Hydrophobic duck feathers and their simulation on textile substrates for water repellent treatment. *Bioinspiration & Biomimetics*. Vol. 3. 046007.
- 13- Gudmundsson, J. T. Physics and technology of magnetron sputtering discharges. *Plasma Sources Science and Technology*, v. 21, p. 014002, 2012.
- 14- ASTM D7334 - 8. Standard practice for surface wettability of coatings, substrates and pigments by advancing contact angle measurement. Vol. 06.01. Nov.2010.
- 15- Gomathi, N., Eswaraiah, C., Sudarsan, N. 2009. Surface Modification of Polycarbonate by Radio-Frequency Plasma and Optimization of the Process Variables with Response Surface Methodology. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol.114. Pag. 1557–1566 .
- 16- Trapalis, C., Todorova, N., Anastasescu, M., Anastasescu, C., Stoica, M., Gartner, M., Zaharescu, M., Stoica. 2009. Atomic force microscopy study of TiO₂ sol-gel films thermally treated under NH₃ atmosphere. *Thin Solid Films*. Vol. 517. Pag. 6243-6247.



Figura 1 – Esquema da Câmara Alcatel do sistema de magnetron sputtering.



Tabela 1 - Representação dos factores e níveis para um planeamento factorial 24



Figura 2 – Posições das gotas para medidas do ângulo de contacto



Figura 3 – Espectro angular obtido a partir da imagem AFM correspondente a uma área de estudo de $2 \times 2 \mu\text{m}^2$: dimensão fractal média (MDF)



Tabela 2 – Matriz das variáveis e valores operacionais para o planeamento factorial 24 com um ponto central



Figura 4 – Diagrama de Pareto demonstrando os efeitos principais e interações (cor laranja: efeito positivo e cor azul: efeito negativo) dos parâmetros para a resposta trabalho de adesão onde: A= Potência; B= Fluxo de argon; C= Fase reversa; D= Tempo de



Tabela 3 – Análise de Variância (ANOVA) para a resposta ângulo de contacto



Figura 5 – Gráfico de Valores observados em função dos valores previstos



Figura 6 - Representação em 3D da superfície de respostas das amostras de PLA submetidas a uma fase reversa fixa de 1% e um tempo de deposição dos nanorevestimentos de 30 minutos



Figura 7 – Ponto B: Ângulo de contacto da amostra B de PLA nanorevestida com A= 100 Watts, B= 10 cm³.min⁻¹ (4.0x10⁻³ mbar) C= 1% e D= 30 minutos



Figura 8 – Ponto C: Deconvolução do pico C1s para a amostra C de PLA nanorevestida com valores de A= 100 Watts, B= 30 cm³.min⁻¹ (9.0x10⁻³ mbar), C= 1% e D= 30 minutos



Figura 9 - Imagem (2µm x2µm) AFM em (a) 3D e (b) 2D e (c) gráfico do perfil de rugosidade da superfície da fibra do PLA não tratada



Figura 10 - Imagem (2µm x2µm) AFM em (a) 3D e 2D (b) e (c) gráfico do perfil de rugosidade da superfície da fibra do PLA nanorevestida a uma potência de 100 Watts, e fluxo de argon de 30 cm³.min⁻¹ (pressão: 9x10⁻³ mbar) e 30 minutos de deposição (Amostra



Figura 11– Imagens obtida em campo claro por STEM das nanopartículas de PTFE em diferentes tamanhos sobre microfibras de PLA (Amostra C)



Tabela 4 - Parâmetros Espacial das amostras



Tabela 5 - Parâmetros de molhabilidade



Figura 12— Gota de água sobre a amostra C nanorevestida com propriedades
superhidrofóbicas: "efeito Lótus"

CÓDIGO: ET1349

AUTOR: PEDRO ARTHUR FREIRE PEREIRA

ORIENTADOR: FRANCINE ALVES DA COSTA

TÍTULO: OBTENÇÃO DE PÓS METÁLICOS DO SISTEMA MO-CU ATRAVÉS DE MOAGEM DE ALTA ENERGIA E DISSOLUÇÃO E AS RESPECTIVAS INFLUÊNCIAS DE CADA ROTA NA MICROESTRUTURA

Resumo

Este trabalho descreve a obtenção de pós metálicos do sistema Mo–Cu por duas rotas distintas: moagem de alta energia (MAE), realizada a 400 rpm por 2 h, e dissolução em 100 mL de água destilada a 60 °C por 1 h. Em ambas as rotas, utilizaram-se como precursores o heptamolibdato de amônio e o nitrato de cobre, homogeneizados na proporção de 75% em massa de Mo e 25% em massa de Cu. Os pós obtidos foram posteriormente submetidos a redução térmica em forno tubular sob atmosfera de hidrogênio, a 750 °C por 1 h, com taxa de aquecimento de 10 °C/min. As amostras foram caracterizadas por difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por dispersão de energia (EDS). Os resultados de DRX e do refinamento de Rietveld confirmaram a formação do sistema bifásico Mo–Cu, sem a presença de intermetálicos, em conformidade com o diagrama de fases Cu–Mo. A duas rotas resultaram em valores próximos da composição nominal DR, (78,5% Mo e 21,5% Cu) (MAE) e MAE, (77,8% Mo e 22,2% Cu) e parâmetros de rede consistentes com os valores de referência. Em relação ao tamanho de cristalito, o Mo manteve valores próximos em ambas as rotas (29 nm), mas o Cu apresentou diferenças marcantes, sendo menor em DR (27,8 nm) maior em MAE (35,4 nm), evidenciando nucleação homogênea na dissolução e crescimento mais acentuado do Cu na moagem. As análises de MEV/EDS mostraram que a rota por dissolução promoveu partículas mais uniformes, com morfologia refinada e distribuição homogênea

Palavras-chave: pós metálicos, sistema Mo-Cu, moagem de alta energia, dissolução

TITLE: Obtaining metal powders from the Mo-Cu system through high-energy grinding and dissolution, and the respective influences of each route on the microstructure

Abstract

This work describes the production of metallic powders of the Mo–Cu system through two distinct routes: high-energy ball milling (HEBM), performed at 400 rpm for 2 h, and dissolution in 100 mL of distilled water at 60 °C for 1 h. In both routes, ammonium heptamolybdate and copper nitrate were used as precursors, homogenized in the proportion of 75 wt% Mo and 25 wt% Cu. The obtained powders were subsequently subjected to thermal reduction in a tubular furnace under a hydrogen atmosphere at 750 °C for 1 h, with a heating rate of 10 °C/min. The samples were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and energy-dispersive spectroscopy (EDS). The XRD results and Rietveld refinement confirmed the formation of the biphasic Mo–Cu system, without the presence of intermetallics, in accordance with the Cu–Mo phase diagram. Both routes yielded compositions close to the nominal values: DR (78.5% Mo and 21.5% Cu) and HEBM (77.8% Mo and 22.2% Cu), with lattice parameters consistent with the reference data. Regarding crystallite size, Mo remained nearly constant in both routes (29 nm), whereas Cu exhibited significant differences, being smaller in DR (27.8 nm) and larger in HEBM (35.4 nm), evidencing homogeneous nucleation in the dissolution route and more pronounced Cu growth during milling. SEM/EDS analyses showed that the dissolution route promoted more uniform particles, with refined morphology and homogeneous distribution of Mo and Cu.

Keywords: metal powders, Mo-Cu system, high-energy ball milling, dissolution

Introdução

Os compósitos metálicos do sistema Mo–Cu têm despertado grande interesse devido à combinação singular de propriedades físicas e químicas de seus constituintes. O molibdênio (Mo) apresenta elevado ponto de fusão, boa resistência mecânica em altas temperaturas e baixa expansão térmica, enquanto o cobre (Cu) é caracterizado por alta condutividade elétrica e térmica. A junção desses elementos resulta em materiais com potencial aplicação em componentes eletrônicos, contatos elétricos, dissipadores térmicos e catalisadores[1]. Estes compósitos possuem alta aplicabilidade, especialmente na fabricação de dispositivos eletrônicos e microeletrônicos, mais precisamente na produção de capacitores, na engenharia elétrica e até na indústria militar. Isso se deve à sua elevada condutividade elétrica e ao seu excelente coeficiente de expansão térmica, aliados a uma boa processabilidade industrial [2–4]. Assim, o desenvolvimento de rotas de síntese capazes de promover mistura íntima e refinamento microestrutural é essencial para garantir desempenho funcional. Diversos métodos têm sido empregados para a síntese de pós do sistema Mo–Cu, incluindo rotas mecânicas, químicas e físicas. Entre eles, a moagem de alta energia destaca-se pela capacidade de gerar misturas homogêneas em escala nanométrica, com maior reatividade[5]. Já os métodos químicos, como dissolução–precipitação, sol–gel ou redução de sais e óxidos em atmosfera de hidrogênio, asseguram elevada homogeneidade química e partículas finas[6]. Em síntese, a escolha da rota influencia diretamente a microestrutura final, enquanto rotas químicas tendem a gerar partículas homogêneas e cristalinas, a moagem mecânica resulta em pós mais reativos e nanocristalinos, ainda que com maior densidade de defeitos. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo comparar duas rotas distintas para a síntese de pós Mo–Cu, a moagem de alta energia (MAE) e a dissolução em meio aquoso — utilizando como precursores o heptamolibdato de

amônio e o nitrato de cobre. As amostras obtidas foram reduzidas em atmosfera de hidrogênio e caracterizadas por difração de raios X (DRX), refinamento de Rietveld, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por dispersão de energia (EDS), de modo a correlacionar as diferenças estruturais e morfológicas observadas em função da rota de síntese adotada.

Metodologia

Os pós precursores de heptamolibdato de amônia e nitrato de cobre foram presados conforme cálculos estequiométricos, a amostra 1 consiste em um pó de 23,30g separado para o método de moagem enquanto a amostra 2 um pó de 11,7g para o método da dissolução. Os precursores da amostra 1 foram misturados manualmente e colocados para moagem imersos em álcool com 90% de pureza em um único cadinho com a razão massa-bola de 1/10 e colocados em um moinho de bolas pulverisette 6 numa rotação de 400 rpm por um intervalo de tempo de 2 horas. Os precursores da amostra 2 foram misturados manualmente e imersos em 100ml de água destilada dentro de um becker e colocados em um agitador magnético com aquecimento, no qual foi definido para aquecer a mistura a 60 °C por uma hora e uma agitação de 14(sem unidade definida), sendo essa mistura constantemente medida com um termômetro, por fim a mistura foi aquecida por volta de 100°C apenas para o processo ebulição da água destilada presente na dissolução. Ambas as amostras foram secas em uma estufa SolidSteel com temperatura definida para 120°C por cerca de uma hora com a finalidade apenas de retirar a umidade remanescente presente no pó devido aos processos de moagem e dissolução. Após a secagem das respectivas amostras 1 e amostra 2, ambas passaram pelo processo de redução em um forno tubular, com cada uma delas sendo colocada aproximadamente 2g em navículas de cerâmica separadas. ambas as amostras foram reduzidas em um forno tubular sob atmosfera de hidrogênio a uma temperatura de 750 °C por uma hora contínua, onde a curva de temperatura de aquecimento do forno foi definida para 10 °C por minuto.

Resultados e Discussões

3.1. Caracterização Morfológica e Composicional dos Pós Precursores Misturados pelas diferentes rotas. As micrografias e o mapeamento por EDS dos pós precursores misturados por dissolução são apresentados nas Figuras 1(a–f). As micrografias apresentadas na Figura 1(a), mostra uma superfície mais contínua e apresenta textura lamelar e rugosa, sugerindo a formação de aglomerados por cristalização após evaporação do solvente. Em maior aumento (b), observa-se a presença de partículas maiores e com aspecto em placas sobrepostas, indicando crescimento cristalino preferencial típico de sais hidratados cristalizados[7, 8]Essa morfologia contrasta com a dos pós preparados por moagem, que exibem partículas mais fragmentadas, irregulares e nanométricas, resultantes do refino mecânico e da deformação plástica intensa [9, 10] O mapeamento de EDS 1(c–f) confirma a presença homogênea de Mo, Cu e O. A distribuição uniforme dos elementos sugere que a dissolução promoveu uma mistura em escala molecular, evitando segregações macroscópicas típicas de processos de mistura física. Diferentemente da moagem, em que a mistura depende do contato mecânico e

pode gerar regiões heterogêneas com concentrações locais distintas, a rota por dissolução assegura maior homogeneidade química[5]. Os pós obtidos por dissolução tendem a apresentar partículas maiores, menos defeituosas e mais cristalinas, o que implica em menor energia armazenada e menor reatividade durante a etapa de decomposição térmica. Em contrapartida, os pós moídos exibem refino de partículas, alta densidade de defeitos e alta energia de superfície, fatores que aceleram processos de decomposição e redução[9]. Assim, embora a dissolução assegure homogeneidade química, a moagem tende a favorecer a reatividade térmica e a formação de dispersões mais finas de MoO_3 e CuO após calcinação. Adicionalmente, os mapas de EDS (Figura 1(f)) revelam a presença de oxigênio, compatível com a natureza dos precursores (MoO_4^{2-} no AHM e NO_3^- no nitrato de cobre). Isso é igualmente observado nos pós moídos (Figuras 2(f)), mas com a diferença de que a moagem pode induzir oxidação superficial adicional devido ao atrito mecânico e à exposição ao ar[11]. Essa comparação indica que a escolha do método de preparação influencia diretamente a microestrutura inicial, que, por sua vez, condiciona o comportamento na decomposição térmica e na redução subsequente para obtenção do compósito Mo–Cu. Figuras 1-Micrografias dos pós precursores misturados por dissolução (a-b) e mapeamento EDS (c) da composição, (d) Mo, (e) Cu e (f) O. As Figuras 2 (a-b) mostram as micrografias e (c-f) o mapeamento por EDS dos pós precursores misturados por moagem de alta energia, as quais evidenciam que os pós precursores apresentam uma morfologia aglomerada, com blocos compactos e superfícies rugosas em baixa ampliação, enquanto, em maior ampliação, observa-se a formação de partículas submicrométricas irregulares. Esse comportamento é característico da moagem de sais hidratados, que tende a promover aglomeração por pontes capilares e compactação a frio, ao mesmo tempo em que gera elevada energia de deformação e mistura dos constituintes em escala nanométrica [12]. Figuras 2- Micrografias dos pós precursores misturados por MAE (a-b) e mapeamento EDS (c) da composição, (d) Mo, (e) Cu e (f) O. O mapeamento de EDS (Figuras 2 (c-f)) confirma a presença e a distribuição dos elementos Mo, Cu e O nos pós. Tanto Mo quanto Cu exibem dispersão relativamente homogênea, sem evidências de segregações macroscópicas, sugerindo que a moagem de alta energia foi eficaz na mistura dos precursores, como também reportado em sistemas similares [5]. O sinal de oxigênio, por sua vez, é intenso e difuso, o que é esperado considerando que os precursores utilizados são sais altamente oxigenados. A mistura homogênea identificada pelo EDS deve favorecer a formação do compósito Mo-Cu, encurtando os caminhos de difusão na redução e sinterização. Portanto, os resultados de MEV e EDS indicam que a moagem mecânica de AHM e $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ resulta em uma distribuição homogênea dos precursores e na formação de partículas finamente aglomeradas, características desejáveis para a etapa subsequente de decomposição térmica e redução, onde se espera a formação de um compósito Mo–Cu com interfaces extensas e boa dispersão de fases.

3.2. Análise por Difração de Raios X (DRX) e Refinamento Rietveld dos Pós Misturados e dos Pós Compósitos (Mo-25%Cu) obtidos pelas diferentes rotas. As Figura 3 apresenta os difratogramas das amostras percussoras misturadas e reduzidas, por dissolução (a), por moagem de alta energia (b), dos pós reduzidos partindo dos percussores misturados por dissolução (c) e dos pós reduzidos partindo dos percussores misturados por MAE. Figura 3- Difratogramas das amostras percussoras misturadas (a-b) e reduzidas (c-d). O difratograma apresentado na Figura 3(a) exibe diversos picos estreitos e bem definidos, típicos de sais hidratados altamente cristalinos, como AHM $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O})$ e $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, cristalizados a partir de solução. O padrão de difração apresentado na Figura 3(b) mostra alargamento de picos, indicando refino de cristalitos e

microdeformação e uma parcial amorfização induzidos pela energia mecânica. Esse comportamento é clássico em materiais obtidos por moagem de alta energia (MAE), ocorrendo pela introdução de defeitos, quebra de partículas e possível perda de água ligada à estrutura cristalina e alterações químicas nos grupos polimolibdato e nitrato, o que leva à diminuição da cristalinidade e aumento da reatividade dos precursores [13, 14]. Em resumo, a moagem de alta energia (MAE) promove uma mistura física mais refinada entre os precursores, mas gera mais defeitos estruturais e, consequentemente, um pó mais reativo. Já a rota por dissolução resulta em uma mistura homogênea em nível químico, formando um material mais cristalino e estável. Esses efeitos se refletem no alargamento dos picos de difração, que pode ser explicado pela redução do tamanho dos cristalitos e pelo aumento da deformação da rede cristalina [5, 15, 16]. Nos dois padrões da Figura 3(c-d), os picos de difração são atribuídos a Mo (cúbico de corpo centrado, CCC) e Cu (cúbico de face centrada, CFC), marcadas por “*” (Mo) e “#” (Cu), sem a presença de picos de intermetálicos. Este resultado está em concordância com o diagrama de fases Mo–Cu, que evidencia imiscibilidade entre molibdênio e cobre no estado sólido [3, 17]. Os picos tendem a ser mais estreitos, sugerindo cristalitos maiores e menor microdeformação após a redução o que é coerente com os resultados dos pós de partida misturados por dissolução (Figura 1(a)) que apresentam maior cristalinidade (precursores-D), durante a decomposição ($\text{AHM} \rightarrow \text{MoO}_3$; $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{CuO}$) e subsequente redução ($\rightarrow \text{Mo}^0 + \text{Cu}^0$), há crescimento ou coalescência mais pronunciados. Os pós reduzidos a partir de pós precursores moídos apresentam picos mais largos, característicos de cristalitos menores e deformação de rede cristalina residual proveniente da rota mecânica. A maior densidade de defeitos e a energia armazenada favorecem a redução dos óxidos, mas ao mesmo tempo dificultam o crescimento das partículas durante esse processo. Assim, os cristalitos de Mo e Cu permanecem em escala nanométrica, marcado por picos mais alargados nos difratogramas, o que pode ser confirmado pelo refinamento Rietveld (Figura 4(a-b) e Tabela 1. A Figura 4 mostra os difratogramas refinados por Rietveld dos compósitos Mo–25%Cu obtidos pelas rotas de moagem (a) e dissolução (b) após a redução. Figura 4 - Difratogramas refinados por Rietveld dos compósitos Mo–25%Cu obtidos pelas rotas de moagem (a) e dissolução (b) após a redução. Em ambos os casos foram identificadas apenas as fases de Mo (CCC, ICSD 129216) e Cu (CFC, ICSD 136042), sem evidências de formação de intermetálicos ou óxidos residuais. Nota-se que os padrões apresentam excelente concordância entre os dados experimentais e calculados, confirmada pela pequena diferença residual (linha azul). A Tabela 1 mostra os dados dos resultados do refinamento Rietveld para as amostras Mo–25%Cu obtidas pelas rotas de dissolução/redução (DR) e moagem/redução (MR). Amostra Fase (%) Parâmetro de rede (Å) Tamanho de cristalito (nm) Índices de concordância Rwp Rexp X² Mo-25Cu_DR Mo – 78,5 a = b = c = 3,1474 29,2 3,30 1,15 2,87 Cu – 21,5 a = b = c = 3,6164 27,8 Mo-25Cu_MR Mo – 77,8 a = b = c = 3,1444 28,2 4,73 1,21 3,89 Cu – 22,2 a = b = c = 3,6164 35,4 As frações de fase foram semelhantes nas duas rotas: 78,5% Mo e 21,5% Cu para DR e 77,8% Mo e 22,2% Cu para MR. A ligeira diferença em relação à composição nominal pode estar associada a efeitos de absorção desigual dos raios X e ao alinhamento preferencial dos grãos induzidos pela moagem de alta energia, que alteram as intensidades relativas dos picos de difração [18]. Os parâmetros de rede do Cu coincidiram com os valores de referência, enquanto o Mo apresentou leve contração na amostra moída (3,1444 Å) contra a amostra dissolvida (3,1474 Å), sugerindo microdeformação residual típica de processos de moagem mecânica (Suryanarayana, 2001). Quanto ao tamanho de cristalito, o Mo manteve valores próximos (≈ 29 nm), mas

o Cu apresentou diferenças mais marcantes: 27,8 nm em DR e 35,4 nm em MR. Esse comportamento indica que a dissolução favorece nucleação mais homogênea e partículas finas de Cu, enquanto a moagem leva ao crescimento mais acentuado do cobre durante a redução, devido à sua maior mobilidade atômica[19] Os índices de concordância confirmaram a qualidade dos ajustes, com valores ligeiramente melhores para a rota DR ($R_{wp} = 3,30$; $\chi^2 = 2,87$) em comparação à MR ($R_{wp} = 4,73$; $\chi^2 = 3,89$), reforçando a maior homogeneidade do material obtido por dissolução. Em síntese, ambas as rotas levam à formação do compósito bifásico Mo–Cu, mas com diferenças microestruturais importantes, a rota por dissolução-DR gera uma dispersão mais fina e homogênea de Cu, adequada para aplicações que exigem elevada área interfacial, enquanto a rota por moagem-MR resulta em partículas de Cu maiores e maior microdeformação no Mo, o que pode facilitar a sinterização inicial, mas com menor uniformidade de fases.

3.3. Caracterização Morfológica e Composicional dos Pós de Compósitos (Mo-Cu) obtidos pelas diferentes rotas. As micrografias e o mapeamento por EDS dos pós reduzidos são apresentados nas Figuras 5(a–e), evidenciando a presença de partículas altamente aglomeradas, com morfologia irregular e recobrimento granular fino, além da formação de estruturas alongadas nanométricas que atuam como eixos de crescimento preferencial. Essa característica sugere que a mistura em nível molecular, proporcionada pela rota de dissolução, favorece uma nucleação homogênea de Mo e Cu durante a redução, resultando em uma distribuição mais uniforme das fases e na geração de estruturas com elevado grau de interconexão. A análise composicional via EDS foi realizada para avaliar a distribuição dos componentes metálicos no pó reduzido. Os mapas elementares para Cobre (Cu), em vermelho (Figura 5(c)), e Molibdênio (Mo), em verde (Figura 5(d)), mostram que ambos os elementos estão presentes em toda a área da amostra. A imagem de sobreposição (Figura 5(e)) demonstra uma excelente distribuição entre o Cu e o Mo. A homogeneidade dos elementos em escala micrométrica, cobrindo tanto as partículas finas quanto os bastões, confirma o sucesso do método de Dissolução/redução para obter um pó compósito com alta dispersão. Essa homogeneidade é um fator crítico para a produção de compósitos Mo-Cu de alto desempenho, sendo essencial para garantir uma microestrutura final uniforme após as etapas de compactação e sinterização, o que por sua vez é fundamental para se obter propriedades otimizadas, como alta condutividade térmica e elétrica e baixo coeficiente de expansão térmica [19, 20]

Figuras 5 - Micrografias dos pós reduzidos (Mo-25%Cu) a partir da rota de dissolução (a-b) e mapeamento EDS (c) da composição, (d) Mo e (e) Cu. A ausência de grandes aglomerados de Cu ou Mo puros sugere que o processo de dissolução dos precursores seguido de redução foi eficaz em prevenir a segregação de fases em larga escala. A morfologia resultante, com uma rede interconectada de partículas finas e bastões, também pode ser benéfica para a sinterabilidade do pó, promovendo um bom empacotamento e aumentando os pontos de contato entre as partículas. Conclui-se, portanto, que a rota de síntese empregada foi bem-sucedida em produzir um pó de compósito Mo-Cu com uma distribuição elementar altamente homogênea, consistindo de uma morfologia mista de partículas finas e microbastões. Essa microestrutura é promissora para o processamento subsequente e para a fabricação de componentes com as propriedades desejadas para aplicações em gerenciamento térmico e contatos elétricos. As micrografias de MEV (Figura 6 (a-b)) exibem uma morfologia composta por agregados de partículas ultrafinas, com uma estrutura porosa e interconectada. Diferentemente de rotas químicas em solução que podem levar a morfologias com geometrias bem definidas (ex., bastões ou esferas), a moagem de alta energia impõe severa deformação plástica, fraturas constantes e eventos

de soldagem a frio às partículas dos precursores [5]. Esse processo intenso resulta na formação de partículas com formas irregulares e uma estrutura altamente aglomerada, como observado na Figura 6a. Figuras 6 - Micrografias dos pós reduzidos (Mo-25%Cu) a partir da rota de MAE (a-b) e mapeamento EDS (c) da composição, (d) Mo e (e) Cu. Em maior magnificação (Figura 6b), nota-se que os agregados são formados por partículas primárias de tamanho nanométrico, o que confere ao material uma elevadíssima área superficial. Essa nanoestrutura é uma consequência direta da energia mecânica introduzida durante a moagem, que refina os grãos cristalinos e promove um refinamento das partículas dos precursores de molibdênio e cobre. Os mapas individuais de Cobre (Cu), em vermelho (Figura 6c), e Molibdênio (Mo), em verde (Figura 6d), assim como a imagem de sobreposição (Figura 6e), confirmam a presença de ambos os elementos na amostra. Embora a notável a distribuição homogênea do Cu e do Mo em toda a microestrutura aglomerada, a amostra MR, nota-se uma distribuição menos regular, com regiões localmente enriquecidas em um dos elementos, em linha com leve heterogeneidade. A imiscibilidade entre Mo e Cu torna a obtenção de compósitos homogêneos um desafio. A duas rotas aqui estudadas, moagem de alta energia e dissolução, supera essa barreira ao fornecer pós compósitos refinados a nível nanométrico, criando um estado altamente ativado [20]. Essa ativação mecânica pode, inclusive, diminuir a temperatura necessária para a redução completa dos óxidos, além de resultar em um pó nanocristalino. A microestrutura porosa e de alta área superficial observada para as amostras obtidas é particularmente vantajosa para as etapas subsequentes de sinterização, pois a alta energia de superfície das nanopartículas age como força motriz para a densificação em temperaturas mais baixas.

Conclusão

Foi possível comparar duas rotas distintas para a fabricação de compósitos metálicos do sistema Mo–Cu: a rota por moagem de alta energia (MAE) e a rota por dissolução química, com posterior tratamento térmico de redução em atmosfera de hidrogênio. Ambos os métodos demonstraram ser eficazes na obtenção de pós metálicos bifásicos Mo–25%Cu, com ausência de fases intermediárias indesejadas, como óxidos ou intermetálicos, como constatado pelas análises de DRX e refinamento Rietveld. A rota da dissolução por sua vez apresentou vantagens significativas em quesitos como a homogeneidade química e à distribuição elementar dos precursores, o que favorece a formação de partículas com uma morfologia mista de bastões e partículas finas, assim como uma microestrutura mais uniforme. Essa homogeneidade é primordial para aplicações que exigem alta condutividade térmica e elétrica, além de estabilidade dimensional. Por outro lado, a rota por moagem de alta energia (MAE) promoveu uma mistura física eficiente, com partículas altamente refinadas, estrutura nanocristalina de maior densidade. Essa característica pode favorecer etapas subsequentes como a de sinterização, devido à elevada energia de superfície e à maior reatividade dos pós, apesar da leve heterogeneidade observada na distribuição dos elementos. Portanto, embora ambas as rotas sejam viáveis para a obtenção de compósitos Mo–Cu, cada uma apresenta características particulares que podem ser exploradas de acordo com a aplicação final desejada. A rota por dissolução é mais indicada quando se busca alta uniformidade e controle morfológico, enquanto a moagem de alta energia se destaca em contextos que demandam reatividade elevada e nanoestruturação, sendo ambas

estratégias promissoras para a superação da imiscibilidade do sistema Mo–Cu e para a síntese de materiais funcionais avançados.

Referências

1. Bashir K, Gupta D, Jain V (2025) Surface characterization of copper metal matrix composites reinforced with tungsten and molybdenum (Cu-W-Mo) through Microwave hybrid heating: A sustainable approach. *Int J Refract Metals Hard Mater* 130:107147. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2025.107147>
2. Wang D, Yin B, Sun A, et al (2016) Fabrication of Mo–Cu composite powders by heterogeneous precipitation and the sintering properties of the composite compacts. *J Alloys Compd* 674:347–352. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.03.027>
3. Subramanian PR, Laughlin DE (1990) The Cu-Mo (Copper-Molybdenum) system. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams* 11:169–172. <https://doi.org/10.1007/BF02841703>
4. Zeng Q-G, Bu C-Y, Wang N, et al (2025) Mo-30 wt%Cu composites with excellent electrical and mechanical properties strengthened by interfacial diffusion. *Mater Charact* 223:114947. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2025.114947>
5. Suryanarayana C, Al-Aqeeli N (2013) Mechanically alloyed nanocomposites. *Prog Mater Sci* 58:383–502. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2012.10.001>
6. Song P, Cheng J, Wan L, et al (2009) Preparation and characterization of Mo-15 Cu superfine powders by a gelatification-reduction process. *J Alloys Compd* 476:226–230. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2008.09.097>
7. Lou XW, Zeng HC (2002) Hydrothermal Synthesis of α -MoO₃ Nanorods via Acidification of Ammonium Heptamolybdate Tetrahydrate. *Chemistry of Materials* 14:4781–4789. <https://doi.org/10.1021/cm0206237>
8. Henrist C, Traina K, Hubert C, et al (2003) Study of the morphology of copper hydroxynitrate nanoplatelets obtained by controlled double jet precipitation and urea hydrolysis. *J Cryst Growth* 254:176–187. [https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(03\)01145-X](https://doi.org/10.1016/S0022-0248(03)01145-X)
9. Suryanarayana C (2001) Mechanical alloying and milling. *Prog Mater Sci* 46:1–184. [https://doi.org/10.1016/S0079-6425\(99\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6425(99)00010-9)
10. Benjamin JS, Volin TE (1974) The mechanism of mechanical alloying. *Metallurgical transactions* 5:1929–1934. <https://doi.org/10.1007/BF02644161>
11. Bolsonella A, Naimi F, Heintz O, et al (2021) Influence of oxygen induced during high-energy ball milling process on the mechanical properties of sintered nickel by SPS. *J Alloys Compd* 856:157869. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.157869>
12. Sandoval SS, Silva N (2023) Review on Generation and Characterization of Copper Particles and Copper Composites Prepared by Mechanical Milling on a Lab-Scale. *Int J Mol Sci* 24:7933. <https://doi.org/10.3390/ijms24097933>
13. Kovács TN, Hunyadi D, de Lucena ALA, Szilágyi IM (2016) Thermal decomposition of ammonium molybdates. *J Therm Anal Calorim* 124:1013–1021. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-5201-0>
14. Urso M, Gholamirajenaki N, Iacono V, et al (2025) Optimized ball milling synthesis of efficient NiMo bimetallic electrocatalysts for hydrogen evolution reaction in alkaline conditions. *Int J Hydrogen Energy* 162:150722. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.150722>
15. Martínez V de P, Aguilar C, Marín J, et al (2007) Mechanical alloying of Cu–Mo powder mixtures and thermodynamic study of solubility. *Mater Lett* 61:929–933. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.11.070>
16. Williamson GK, Hall WH (1953) X-ray line broadening from fcc aluminium and wolfram. *Acta Metallurgica* 1:22–31. [https://doi.org/10.1016/0001-6160\(53\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0001-6160(53)90006-6)
17. URUGA K, SAWADA K,

ENOKIDA Y, YAMAMOTO I (2008) Liquid Metal Extraction for Removal of Molybdenum from Molten Glass Containing Simulated Nuclear Waste Elements. *J Nucl Sci Technol* 45:1063–1071. <https://doi.org/10.1080/18811248.2008.9711893> 18.

Popović S (2020) Quantitative Phase Analysis by X-ray Diffraction—Doping Methods and Applications. *Crystals* (Basel) 10:27. <https://doi.org/10.3390/cryst10010027> 19.

Sun A, Liu Y, Wang D, Zhou Z (2018) Sintering Behavior and Properties of Mo-Cu Composites. *Advances in Materials Science and Engineering* 2018:.. <https://doi.org/10.1155/2018/8703986> 20.

Sun A, Wang D, Wu Z, Cheng Q (2011) Mechanochemical synthesis of Mo–Cu nanocomposite powders. *J Alloys Compd* 509:L74–L77. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.11.019>

Anexos



Figuras 1-Micrografias dos pós precursores misturados por dissolução (a-b) e mapeamento EDS (c) da composição, (d) Mo, (e) Cu e (f) O.



Figuras 2- Micrografias dos pós precursores misturados por MAE (a-b) e mapeamento EDS (c) da composição, (d) Mo, (e) Cu e (f) O.



Figura 3- Difratomogramas das amostras precursoras misturadas (a-b) e reduzidas (c-d).



Figura 4 - Difratomogramas refinados por Rietveld dos compósitos Mo–25%Cu obtidos pelas rotas de moagem (a) e dissolução (b) após a redução.



A Tabela 1 mostra os dados dos resultados do refinamento Rietveld para as amostras Mo–25%Cu obtidas pelas rotas de dissolução/redução (DR) e moagem/redução (MR).



Figuras 5 - Micrografias dos pós reduzidos (Mo-25%Cu) a partir da rota de dissolução (a-b) e mapeamento EDS (c) da composição, (d) Mo e (e) Cu.



Figuras 6 - Micrografias dos pós reduzidos (Mo-25%Cu) a partir da rota de MAE (a-b) e mapeamento EDS (c) da composição, (d) Mo e (e) Cu.

CÓDIGO: ET1361

AUTOR: VINÍCIUS DE SOUZA FREITAS

ORIENTADOR: CARLSON PEREIRA DE SOUZA

TÍTULO: ESTUDOS TERMODINÂMICOS E OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DA EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO E SUPER CRÍTICA DO ÓLEO ESSENCIAL DA CANNABIS GENÉTICA SUPER LEMON HAZE

Resumo

Este artigo aborda a extração sólido-líquida do óleo essencial de Cannabis sativa (genética Super Lemon Haze) utilizando o método Soxhlet com etanol como solvente, visando a aplicação medicinal de canabinoides como THC e CBD. O estudo focou na otimização de parâmetros operacionais, como massa da amostra e tempo de extração, para maximizar o rendimento e a recuperação do solvente. Foram realizados ensaios baseados em um planejamento experimental composto central, embora a escassez de material vegetal tenha limitado a completude da análise estatística inicialmente planejada (ANOVA e diagrama de Pareto). Os resultados indicaram que a melhor condição experimental (2,9 g em 1,3 h) proporcionou um rendimento de 82,55% e recuperação de 89,33% do etanol. Conclui-se que a metodologia é viável e reprodutível, porém sensível às condições operacionais. Recomenda-se a caracterização detalhada dos extratos e a ampliação dos estudos para otimização e scale-up do processo, com vistas a aplicações farmacêuticas e agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: Cannabis, Extração, Soxhlet, Canabinoides

TITLE: THERMODYNAMIC STUDIES AND PARAMETER OPTIMIZATION OF SOLID-LIQUID AND SUPERCRITICAL EXTRACTION OF ESSENTIAL OIL FROM SUPER LEMON HAZE GENETIC CANNABIS

Abstract

This article addresses the solid-liquid extraction of essential oil from Cannabis sativa (Super Lemon Haze genotype) using the Soxhlet method with ethanol as a solvent,

aiming at the medicinal application of cannabinoids such as THC and CBD. The study focused on optimizing operational parameters, such as sample mass and extraction time, to maximize yield and solvent recovery. Tests were conducted based on a central composite experimental design, although the scarcity of plant material limited the completeness of the initially planned statistical analysis (ANOVA and Pareto chart). The results indicated that the best experimental condition (2.9 g in 1.3 h) provided a yield of 82.55% and ethanol recovery of 89.33%. It is concluded that the methodology is feasible and reproducible, yet sensitive to operational conditions. A detailed characterization of the extracts and further studies for process optimization and scale-up are recommended, with a view to sustainable pharmaceutical and agricultural applications.

Keywords: Cannabis, extraction, Soxhlet, Cannabinoids

Introdução

A planta *Cannabis sativa* tem sido historicamente reconhecida por suas vastas propriedades terapêuticas e seu amplo uso na medicina tradicional (HAMID ET AL, 2025). Cultivada por milhares de anos, a *Cannabis sativa* é uma das primeiras plantas domesticadas pelo homem, inicialmente para a obtenção de fibras de cânhamo, mas também para a produção de resina rica em compostos bioativos (BRUNA, 2021). O interesse científico e industrial na *Cannabis* tem crescido exponencialmente nas últimas décadas, impulsionado pela descoberta e elucidação de seus componentes químicos, conhecidos como canabinoides, terpenos e flavonoides, e suas potenciais aplicações medicinais (BRYAN, 2024).

Os extratos de *Cannabis sativa* são uma fonte complexa de mais de 500 compostos, sendo os canabinoides, terpenos e flavonoides os mais relevantes devido às suas atividades biológicas e produção específica pelo gênero (GRIJÓ, 2018). Os óleos essenciais da *Cannabis sativa* são misturas complexas de compostos voláteis, predominantemente terpenos e terpenoides, que conferem à planta seu aroma e sabor característicos (BRYAN, 2024), os terpenos são conhecidos por suas propriedades farmacológicas e contribuem para os efeitos terapêuticos da *Cannabis*, modulando a atividade dos canabinoides (BRYAN, 2024). Além de suas propriedades organolépticas, os terpenos também demonstraram potencial anti-inflamatório, antimicrobiano e inseticida (BRUNA, 2021).

Existem diversas formas de obtenção do óleo, variando pela captação usando produtos químicos, bioquímicos e mecânicos, com o intuito de obter o maior valor de rendimento sem alterar as qualidades do produto (NDE, 2020). A separação dos bio compostos presentes na planta é de interesse de diversas indústrias, principalmente para a medicina, e pode ser usado diversos tipos de solventes como: água, n-hexano, etanol, clorofórmio e metanol (NDE, 2020). No decorrer dos anos, as pesquisas tendem ao objetivo de obter o óleo de forma mais eficiente e sustentável. Exemplos de métodos usados atualmente são a extração mecânica pela maceração da planta de interesse, a extração usando solvente. Outro método é com assistência enzimática, usando enzimas como celulases,

hemicelulases e pectinases. Por fim, métodos como ultrassom, fluido supercrítico e por microondas também são aplicados (BRUNA, 2018).

A extração utilizando o equipamento Soxhlet é um método de extração sólido-líquido que utiliza o aquecimento da amostra sob refluxo com um solvente orgânico (GRIJÓ ET AL, 2018). É um processo eficiente e adequado para operações em larga escala (HEBAH et al, 2022). O etanol é um solvente frequentemente utilizado neste método (LAZARJANI, 2021). No entanto, estudos comparativos indicaram que o processo Soxhlet pode levar à degradação de canabinoides ácidos (THCA) em canabinoides neutros (THC) e, posteriormente, em CBN, devido às altas temperaturas e longos tempos de extração (LAZARJANI, 2021). Isso pode resultar em estimativas falsas da atividade intoxicante da cannabis se baseadas na concentração de THC em extratos obtidos por este método.

As vantagens aplicadas do uso do equipamento Soxhlet, como feita nesta pesquisa é o amplo uso de solventes, variando de acordo com os bicomponentes de interesse da extração, o fácil uso e replicação do método, e os bons resultados encontrados do uso deste equipamento para extração de plantas no geral (LAZARJANI, 2021).

O objetivo desta pesquisa é o estudo da extração do óleo essencial da Cannabis para o estudo da extração de THC e CBD com o objetivo final de aplicação na área medicinal em um hospital estadual da cidade de Natal, replicando a metodologia aplicada nesta pesquisa para a próxima área de atuação, efetivando o estudo dos parâmetros que influenciam a extração dos óleos presentes nas plantas de estudo, e as substâncias químicas de interesse médico, como é o caso desta pesquisa. Devido à falta de disponibilidade da cannabis sativa até perto do fim do período do estudo, poucos ensaios conseguiram ser realizados.

Metodologia

A metodologia aplicada neste estudo se baseia na pré-preparação da planta sólida, o material foi recebido pela ONG Reconstruir Cannabis. O Laboratório de materiais nanoestruturados e reatores catalíticos (LAMNRC), forneceu a infraestrutura analítica e instrumental necessária para a realização desta pesquisa.

O material sólido foi seco durante um período de 48h em uma estufa de vapor seco, demonstrado na imagem 1, diminuindo a concentração de água para a menor possível sem degradar os metabólitos secundários da planta, seguindo a metodologia aplicada por Grijó (2018) em seu trabalho de extração do óleo essencial da Cannabis. Após a secagem, o material sólido foi moído com o auxílio de um triturador culinário, aumentando sua área superficial e aumentando a eficiência da extração, demonstrado na imagem 2.

Com o material sólido e o solvente usado, neste caso etanol 96% P.A, cada ensaio usando 150mL, foi montado o equipamento Soxhlet em conjunto com uma bomba de

vácuo, um kitassato com a função de ser uma armadilha para o vácuo não danificar o equipamento e ao lado dele, um rota-evaporador, exibido na imagem 3, utilizados para a extração do óleo. Ao fim do tempo estimado, a mistura óleo-álcool é separada pelo aquecimento em banho-maria no rota-evaporador, com rotação constante, até que a viscosidade do óleo seja distinguível da viscosidade da mistura anterior.

Terminado o processo de extração, o cartucho com o material sólido foi pesado para determinar a massa de óleo retirada durante o processo de extração utilizando uma balança de precisão e armazenado em tubos revestido com alumínio para evitar o contato com a luz, evitando reações análogas a exposição a luz e foi possível obter uma tabela com os rendimentos e o aproveitamento do álcool recuperado na extração.

Para avaliar a eficiência de extração da Cannabis da espécie Super Lemon Haze, foi realizado o planejamento experimental do tipo composto central considerando como fatores a massa sólida da planta(Massa) e o tempo de extração no equipamento Soxhlet(t Soxhlet), tendo como variáveis resposta o rendimento encontrado no fim do processo(Rend%) e o álcool recuperado após a etapa de separação líquido-líquido(Álcool Rec%), como mostrado na tabela 1 e na tabela 2 está demonstrada os 10 ensaios realizados de acordo com planejamento.

Devido à quantidade de amostra fornecida pela ONG, não foi possível concluir o planejamento experimental de composto central de dois fatores pela análise de variância(ANOVA) que teria como finalidade verificar a qualidade da aproximação gerada por meio de testes de significância. O diagrama de Pareto também seria realizado a fim de avaliar as variáveis significativas do modelo.Com estes valores obtidos, seria possível também a confecção de um gráfico relacionando os valores obtidos e os valores esperados para as variáveis respostas escolhidas. A análise de dados estáticos seria realizada no software Statistica 7.0.

Desta forma, com os resultados possíveis,sendo realizadas 4 extrações, representadas pela tabela 4, foi confeccionado um gráfico comparativo em relação ao rendimento do óleo obtido e a porcentagem de álcool recuperado pelo processo de separação líquido-líquido entre os 4 primeiros pontos experimentais obtidos.

Resultados e Discussões

Nesta etapa, serão abordados os resultados obtidos de acordo com a metodologia proposta do trabalho.

Avaliando os dados obtidos pelo planejamento experimental, os melhores rendimentos encontrados foram nos ensaios 1 e 3 enquanto sobre o percentual de álcool recuperado foi melhor nos ensaios 1,3 e 4, como demonstrado na tabela 4. Importante notar que o valor de rendimento do experimento 1 foi acima do esperado, isso advém de uma extração incompleta para esses parâmetros, resultando em um óleo com água e etanol ainda não separados, indicando um possível problema ou no tempo de secagem para a

quantidade de amostra trabalhada no planejamento experimental ou tempo insuficiente no rotaevaporador, para todo o álcool ser recuperado após a evaporação e condensação do solvente.

O experimento 3 mostra o considerável para a obtenção de um bom rendimento em questão do óleo quanto para o percentual de álcool recuperado, sendo ele a operação com 2,9 g em um tempo de 1,3h no Soxhlet, resultando em um rendimento de 82,55% em massa e um percentual de 89,33% do álcool inicial recuperado no final do processo.

Analizando o estudo de Grijó (2018), os valores usados destoam bastante desta pesquisa, muito pelo fato dos valores de tempo e massa serem muito menores em comparação.

É compreensível que possam surgir discrepâncias nos resultados de extração quando os parâmetros experimentais, como a quantidade de massa utilizada e o tempo de extração, variam em relação a outros estudos. No contexto da pesquisa, as quantidades de massa utilizadas e o tempo foram determinados por limitações práticas e pela necessidade de conduzir um amplo número de análises, mesmo que não correspondessem às condições necessárias para otimização máxima ou escala industrial(GRIJÓ,2018).

Em seu estudos e em outros,Grijó (2018) destacam que a eficiência e a composição dos extratos são influenciadas por diversos fatores, incluindo:

- Natureza do material vegetal, tipo de solvente, tamanho das partículas, tempo e temperatura de extração(DENISE et al,2006).
- Condições operacionais como pressão e temperatura do solvente, taxa de fluxo do solvente, razão solvente-para-alimento e pré-tratamento da matriz sólida(MEHRAB et al,2021).
- A finalidade da extração é crucial, pois o ótimo dependerá do objetivo da extração(SAPKALE et al,2010). Da mesma forma, a aplicação final e o composto de interesse definem o processo mais eficiente(ÁNGELA et al,2023).

No trabalho de Grijó (2018), para a realização de um grande número de análises, foram utilizadas quantidades de amostra inferiores à capacidade máxima dos extratores, sendo a diferença de volume preenchida com esferas de vidro(GRIJÓ,2018). Isso demonstra uma adaptação da metodologia para viabilizar a pesquisa, o que pode levar a rendimentos ou composições diferentes de estudos que empregam maiores quantidades de material. Por exemplo, Rochfort et al. (2020) desenvolveram um protocolo otimizado para extração em escala de um quilograma por extração para produção de cannabis medicinal de grau farmacêutico, o que contrasta com as quantidades menores usadas em estudos iniciais ou com outras finalidades.

Em relação ao tempo de extração, Grijó (2018) utilizou modelagens matemáticas como o modelo de Sovová para descrever as cinéticas de extração, que variam ao longo do tempo, considerando a extração supercrítica(GRIJÓ et al,2018). O tempo de extração pode afetar consideravelmente a recuperação dos polifenóis, e longos períodos podem aumentar a possibilidade de oxidação dos fenólicos(DENISE et al,2006). A temperatura

durante a extração também pode degradar compostos termossensíveis(HEBAH et al,2022). Wianowska et al. (2015) observaram que o tempo e a temperatura influenciam as transformações de THCA em THC, e depois em CBN, durante a extração(WIANOWSKA et al,2015). Portanto, a escolha de um tempo específico, mesmo que não "ótimo" para todos os compostos, pode ser uma decisão consciente para atingir determinados objetivos dentro das restrições do estudo.

Além disso, a variedade de Cannabis e as condições ambientais (sazonalidade, localização geográfica) influenciam a recuperação de fitocompostos nos extratos(HEBAH et al,2022). Grijó (2018) trabalhou com diferentes variedades de flores, cada uma com seu próprio comportamento térmico e potencial de canabinoides(GRIJÓ,2018). Essas diferenças inerentes ao material de partida podem justificar resultados distintos. Enquanto neste estudo, foi fornecido a flores fêmeas não polimerizadas da genética Super Lemon Haze, indigesto diferentes valores dos fitocannabinoides apresentados.

Assim, pela análise do gráfico, a maioria dos valores preditos apresentaram grandes desvios em relação aos valores observados, mais uma vez mencionado a diferença dos valores dos níveis usados, obtendo resultados não satisfatórios em relação ao rendimento, mas positivos em relação ao estudo da metodologia.

Porém, em termos absolutos, o álcool recuperado foi satisfatório, diminuindo o gasto líquido do álcool por extração, facilitando a reprodutibilidade deste processo e confirmando a qualidade deste processo de extração.

Conclusão

Este trabalho investigou a extração sólido-líquida do óleo essencial de Cannabis sativa genética Super Lemon Haze utilizando o método Soxhlet com etanol como solvente, com o objetivo de otimizar parâmetros como massa de amostra e tempo de extração para maximizar o rendimento e a recuperação do solvente. Os resultados demonstraram que os melhores desempenhos foram alcançados no Experimento 3, com 2,9 g de amostra e 1,3 horas de extração, obtendo um rendimento de 82,55% e recuperação de 89,33% do etanol. No entanto, observou-se variabilidade significativa nos resultados, com rendimentos inconsistentes entre os ensaios, indicando a sensibilidade do processo às condições operacionais e à natureza do material vegetal.

Apesar das limitações impostas pela escassez de matéria-prima e pela impossibilidade de completar a análise estatística planejada (ANOVA e diagrama de Pareto), o estudo permitiu validar a metodologia de extração e destacar a importância do controle rigoroso de parâmetros como umidade residual, tempo de secagem e eficiência na separação líquido-líquido. A recuperação eficiente do solvente mostrou-se viável economicamente, reduzindo custos e favorecendo a sustentabilidade do processo.

Recomenda-se para futuras pesquisas:

A ampliação do planejamento experimental com intervalos de massa e tempo mais adequados à escala do equipamento;

A caracterização química detalhada dos óleos obtidos para quantificar canabinoides e terpenos;

Estudos de scale-up visando à aplicação industrial;

A aplicação da metodologia em outras genéticas da Cannabis de interesse medicinal, evidenciando as diferentes naturezas e níveis de fitocanabinoides, terpenos e flavonoides em cada genética, conforme iniciado neste trabalho.

Esses avanços contribuirão para o desenvolvimento de processos extrativos mais eficientes, reprodutíveis e sustentáveis, alinhados com as demandas por insumos naturais na medicina.

Referências

1. AL UBEED, Hebah Muhsien Sabiah et al. A Comprehensive Review on the Techniques for Extraction of Bioactive Compounds from Medicinal Cannabis. *Molecules*, [S. l.], v. 27, p. 604, 2022. DOI: 10.3390/molecules2703060412.
2. ALOO, Simon Okomo et al. Characterization of different hempseed fractions after dehulling and defatting: chemical composition and functional properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2024. DOI: 10.1007/s11694-024-02771-93.
3. ANDREO, Denise; JORGE, Neuza. Antioxidantes naturais: técnicas de extração. *B.CEPPA, Curitiba*, v. 24, n. 2, p. 319–336, jul./dez. 200645.
4. SIMONE ROCHFORD, et al. Utilisation of Design of Experiments Approach to Optimise Supercritical Fluid Extraction of Medicinal Cannabis. *Science reports*, 202067.
5. Sadia Qamar, et al. Effects of Ethanol on the Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Cannabinoids from Near Equimolar. *Separations*, [S. l.], v. 8, p. 154, 2021. DOI: 10.3390/separations81101548....
6. Masoumeh Pourseyed Lazarjani, Owen Young Lidya Kebede and Ali Seyfoddin. Processing and extraction methods of medicinal cannabis: a narrative review. *Journal of Cannabis Research*, 202111.
7. CLIFFORD, A. A. Calculation of Thermodynamic Properties of CO₂ using Peng Robinson equation of state. [S. l.]: Critical Processes Ltd., 200712.

8.Zdeněk Wimmer, Marie Zarevúcka. A Review on the Effects of Supercritical Carbon Dioxide on Enzyme Activity. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 11, p. 251-?, 20101314.

9.KUMAR,Ujendra. Cannabinoids: Role in Neurological Diseases and Psychiatric Disorders *International Journal of Molecular Sciences*, v. 19, p. 833-?, 20181516.

10.Divine Bup Nde, Anuanwen Claris Foncha. Optimization Methods for the Extraction of VegetableOils: A Review, *Processes*, v. 8, p. 209-?, 20201718.

11.DAWIDOWICZ, A. L.; CZAPCZYŃSKA, N. B.; WIANOWSKA, D. Transformations of tetrahydrocannabinol, tetrahydrocannabinolic acid and cannabinol during their extraction from Cannabis sativa L. *Journal of Analytical Chemistry*, v. 70, p. 920–925, 20151920.

12.GRIJÓ, Daniel Ribeiro. Extração de Bioativos Derivados de Cannabis via Fluidos Pressurizados. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 20182122.

13.KABDY, Hamid et al. Moroccan Cannabis sativa essential oil attenuates peripheral neuropathic pain induced by chronic sciatic nerve constriction injury in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 343, p. 119486, 202523....

14.LI, H. et al. Effect of different extraction methods on the structural analysis, water solubility, and bioactivity of hemp polysaccharides-cannabidiol complexes. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 716, p. 136729, 2025. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2025.13672926....

15.MORENO-CHAMBA, Bryan Mauricio et al. Aromatic and cannabinoid profiles of Cannabis inflorescences and seed oils: A comprehensive approach for variety characterization. *Industrial Crops & Products*, v. 210, p. 118143, 202429....

16.ROVETTO, L. J.; AIETA, N. V. Supercritical carbon dioxide extraction of cannabinoids from Cannabis sativa L. *Journal of CO2 Utilization*, v. 29, p. 16-27, set. 2018. DOI: 10.1016/j.jcou.2018.09.02232....

17.SUÁREZ-JACOBO, Ángela et al. Cannabis Extraction Technologies: Impact of Research and Value Addition in Latin America. *Molecules*, [S. l.], v. 28, p. 2895, 2023. DOI: 10.3390/molecules280728953536.

18.SUPERCritical FLUID EXTRACTION, Density Considerations. [S. l.]: [s. n.], . Disponível em:<http://eng.ege.edu.tr/~otles/SupercriticalFluidsScienceAndTechnology/Wc488d76f2c655.htm>. Acesso em: [data atual da consulta]12.

19.SZÉKELY, Edit. Supercritical Fluid Extraction. Budapest: Budapest University of Technology and Economics, . Disponível em:

<http://sunny.vemt.bme.hu/sfe/angol/supercritical.html>. Acesso em: [data atual da consulta]12.

20.VALIZADEHDERAKHSHAN, M. et al. Extraction of cannabinoids from Cannabis sativa L. (Hemp). Agriculture, v. 11, n. 5, p. 384, 20213738.

21.VARGAS, Bruna Musacchio. Comparação dos processos de extração dos canabinoides da Cannabis medicinal – revisão literária. 2021. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2021

22.SPINOZZI, Eleonora et al. Waste from hemp essential oil production: How distillation methods shape the byproducts value. Industrial Crops & Products, v. 230, 2025.

Anexos



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Gráfico 1



Tabela 1



Tabela 2



Tabela 3



Tabela 4

CÓDIGO: ET1367

AUTOR: CLAUDIO MARCILIO LEITE DA SILVA

ORIENTADOR: EDUARDO LINS DE BARROS NETO

TÍTULO: Síntese e caracterização de novos catalizadores

Resumo

O trabalho aborda o problema da contaminação da água por metais pesados, como o cobre, resultante do aumento da produção industrial. O estudo avaliou o potencial do bagaço de coco verde pré-tratado como um adsorvente de baixo custo para remover íons de cobre de águas contaminadas. Os resultados indicaram que o processo de adsorção é rápido, ocorrendo já nos primeiros minutos, e que o material tem um grande potencial para ser usado nesta aplicação.

Palavras-chave: Adsorção, Metais Pesados, Cobre, Biomassa, Bagaço de Coco

TITLE: Adsorption, Heavy Metals, Copper, Biomass, Coconut Bagasse

Abstract

The work addresses the problem of water contamination by heavy metals, such as copper, resulting from increased industrial production. The study evaluated the potential of pretreated green coconut bagasse as a low-cost adsorbent for removing copper ions from contaminated water. The results indicated that the adsorption process is rapid, occurring within the first few minutes, and that the material has great potential for use in this application.

Keywords: Adsorption, Heavy Metals, Copper, Biomass, Coconut Bagasse

Introdução

O aumento da produção industrial, impulsionado por uma sociedade cada vez mais consumista, levou a um crescimento no consumo de água pelas indústrias. Consequentemente, gerou-se uma maior contaminação dos recursos hídricos por resíduos industriais. Dentre os diversos poluentes, destaca-se a contaminação por metais pesados, como o cobre, que representa um significativo problema ambiental.

Metodologia

O objetivo principal foi avaliar o potencial de adsorção do bagaço de coco verde pré-tratado para a remoção de íons de cobre. Para isso, a capacidade de adsorção do pó da casca de coco, tanto tratado quimicamente quanto não tratado, foi investigada e comparada.

O procedimento experimental consistiu em:

Analisar o efeito da variação da concentração do pó da casca de coco no processo de adsorção.

Colocar diferentes quantidades do material adsorvente em contato com uma solução de cobre de concentração conhecida.

Manter a mistura sob agitação por um tempo determinado, geralmente em torno de uma hora.

Coletar amostras do sobrenadante (a parte líquida da mistura) após o período de contato para analisar a concentração residual de cobre.

Resultados e Discussões

A adsorção do cobre ocorre de forma rápida, sendo observada já nos primeiros minutos de reação.

O processo de adsorção segue um modelo de cinética de pseudo-segunda ordem.

O estudo demonstrou o grande potencial do uso da casca de coco verde pré-tratada como um adsorvente eficaz para a remoção de cobre em águas contaminadas.

Conclusão

Conclui-se que o bagaço de coco verde pré-tratado demonstra grande potencial como um adsorvente para a remoção de cobre em águas contaminadas. A eficiência do

material é validada pela rápida velocidade de reação, com a adsorção ocorrendo já nos primeiros minutos, e pelo fato de o processo seguir uma cinética de pseudo-segunda ordem.

Referências

- Annadurai, G., Juang, R.S., Lee, D.J. (2002). Use of cellulose based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. J. Hazard. Mater. B29, 263–274.
- Atkins, P. W. (2006). Physical chemistry. Oxford [etc.]: Oxford University Press.
- Bruno, M. (2008). Utilização da turfa como adsorvente na remoção de corantes presentes em efluentes da indústria têxtil. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.
- Dabrowski, A. (2001). Adsorption from theory to practice. Advances in Colloid and Interface Science, 93, 135-224.
- Hanna, M. A. (1996). Physical Properties of Fungicides, and Insecticides. CRC Press, Boca Raton.

CÓDIGO: ET1375

AUTOR: MIRELLY PINHEIRO FERREIRA

ORIENTADOR: SANDRA RUFINO SANTOS

TÍTULO: Obstáculos da gestão de estoques em laboratório de análises clínicas:
diagnóstico e plano de ação baseado no Lean Healthcare

Resumo

A gestão de estoques em laboratórios clínicos é determinante para a qualidade assistencial e a sustentabilidade organizacional. Este estudo analisou criticamente os processos de armazenamento e controle de insumos em uma unidade laboratorial de Natal/RN, buscando identificar fragilidades e propor melhorias com base na filosofia Lean Healthcare. A pesquisa, de caráter qualitativo e exploratório, envolveu revisão bibliográfica, visitas de campo, entrevistas e benchmarking interno. Os resultados revelaram problemas estruturais e culturais, como descentralização do estoque, ausência de padronização, falta de indicadores, volumes excessivos e presença de materiais com prazo de validade expirado ou próximo do vencimento. A análise, apoiada pelo Diagrama de Ishikawa, evidenciou causas relacionadas a métodos, mão de obra, materiais, ambiente e tecnologia, reforçando a necessidade de intervenções sistêmicas. Com base nesse diagnóstico, foi elaborado um plano de ação em dez etapas, fundamentado nos princípios do Lean Healthcare, do 5S e da melhoria contínua, com foco na centralização, realização de um inventário geral, padronização de fluxos, definição de responsabilidades e capacitação da equipe. As ações iniciais já apontam ganhos em controle, confiabilidade e eficiência, confirmando o potencial do Lean para reduzir desperdícios, ampliar a previsibilidade e consolidar uma cultura de melhoria contínua no ambiente laboratorial.

Palavras-chave: Gestão de estoques. Lean healthcare. Laboratório de análises clínicas.

TITLE: Obstacles in Inventory Management in Clinical Analysis Laboratories:
Diagnosis and Action Plan Based on Lean Healthcare

Abstract

Inventory management in clinical laboratories is crucial for care quality and organizational sustainability. This study critically analyzed the storage and supply control processes in a laboratory unit in Natal/RN, aiming to identify weaknesses and propose improvements based on the Lean Healthcare philosophy. The research, qualitative and exploratory in nature, involved literature review, field visits, interviews, and internal benchmarking. The results revealed structural and cultural issues, such as decentralized inventory, lack of standardization, absence of indicators, excessive volumes, and the presence of materials with expired or near-expiration dates. The analysis, supported by the Ishikawa Diagram, highlighted causes related to methods, workforce, materials, environment, and technology, reinforcing the need for systemic interventions. Based on this diagnosis, a ten-step action plan was developed, grounded in the principles of Lean Healthcare, 5S, and continuous improvement, focusing on centralization, carrying out a general inventory, standardizing workflows, defining responsibilities, and training the team. Initial actions already point to improvements in control, reliability, and efficiency, confirming Lean's potential to reduce waste, increase predictability, and consolidate a culture of continuous improvement in the laboratory environment.

Keywords: Inventory management. Lean healthcare. Clinical laboratory.

Introdução

As instituições de saúde têm como objetivo disponibilizar serviços de alta qualidade a preços competitivos. No entanto, problemas na gestão têm provocado um aumento constante dos custos do setor. Diante disso, torna-se cada vez mais importante implementar estratégias que melhorem a gestão de estoques e auxiliem na contenção de gastos (Saha; Ray, 2019).

A gestão de estoques na saúde tem desafios como a demanda variável, a curta validade de muitos produtos e os cuidados específicos de armazenamento. Uma administração eficiente, no entanto, pode minimizar problemas que comprometem a sustentabilidade financeira, como compras elevadas, excesso de materiais e falta de insumos essenciais (Barbieri; Machline, 2017). Para os autores, gerir estoques envolve não apenas prever e repor a demanda, mas também coordenar atividades de recebimento, conservação, segurança e distribuição dos produtos.

O estoque só gera valor quando utilizado de acordo com a demanda. Por isso, indica-se adotar níveis reduzidos, seguindo os princípios do Lean, a fim de controlar custos e minimizar desperdícios. Nesse contexto, o Lean Healthcare destaca-se como uma abordagem eficaz para otimizar fluxos, eliminar perdas e reduzir despesas operacionais. Laboratórios de análises clínicas, fundamentais para o diagnóstico e acompanhamento de doenças, apresentam grande potencial para a implementação dessa metodologia (Dalpiaz et al., 2024).

O presente estudo tem como objetivo analisar a gestão de estoques de um laboratório de análises clínicas na ótica do Lean Healthcare, identificando pontos críticos e propondo um plano de ação voltado à redução de custos, ao aumento da lucratividade e ao fortalecimento da competitividade. Para isso, foram conduzidas revisão bibliográfica e estudo de caso de caráter qualitativo e abordagem exploratória.

O foco da análise é a unidade matriz de um laboratório situado na Zona Leste de Natal/RN, que faz parte de uma rede composta por 29 filiais e setores de apoio, como suprimentos e qualidade. A matriz registra o maior volume de atendimentos, realizando coletas internas e externas em três hospitais parceiros, todas abastecidas com insumos próprios, o que evidencia a importância de um controle rigoroso dos estoques.

Os processos de estoque englobam pedidos e armazenamento, abrangendo materiais de coleta (luvas, agulhas, tubos de exame, algodão, álcool, máscaras, garrotes, entre outros), além de insumos de limpeza, expediente e alimentícios. O maior volume e custo concentram-se nos itens de coleta, indispensáveis em todos os ambientes de realização e processamento de exames (salas de preparo, de repouso e de coleta, tanto adulta quanto kids).

O armazenamento, entretanto, ocorre de forma descentralizada e sem critérios padronizados, como separação por validade ou identificação. Embora exista um almoxarifado, este é subutilizado, abrigando apenas alguns itens volumosos, enquanto a maioria dos insumos permanece dispersa nas estações de trabalho.

Dessa forma, o estudo busca contribuir para o aprimoramento da gestão de estoques em laboratórios de análises clínicas, demonstrando como a aplicação de práticas do Lean Healthcare pode reduzir custos, minimizar desperdícios e fortalecer a eficiência operacional em organizações de saúde.

Metodologia

Este estudo caracteriza-se como pesquisa qualitativa, de abordagem exploratória, conduzida por meio do método de estudo de caso, conforme recomenda Yin (2015). O principal objetivo foi analisar as práticas de gestão de estoques em um laboratório, identificar fragilidades operacionais e propor melhorias baseadas em evidências coletadas diretamente na unidade. A escolha do estudo de caso se justifica pela necessidade de investigação aprofundada de fenômenos complexos, envolvendo múltiplas variáveis e interações entre processos, pessoas e infraestrutura.

2.1 Fundamentação teórica e revisão bibliográfica

Antes da coleta de dados, realizou-se uma revisão bibliográfica abrangente sobre gestão de estoques e filosofia Lean. Essa etapa teve como finalidade fornecer suporte teórico às decisões metodológicas e embasar a interpretação dos dados obtidos, garantindo que as

análises e intervenções propostas estivessem alinhadas a boas práticas reconhecidas no campo da gestão.

2.2 Técnicas de análise qualitativa

Para garantir a robustez do estudo e a confiabilidade dos dados, foram aplicadas diversas técnicas de análise qualitativa, estruturadas em três frentes:

Observação direta e acompanhada: ao longo de 13 visitas de campo à unidade, a equipe de pesquisa acompanhou os fluxos físicos de materiais, observando práticas cotidianas de armazenamento, movimentação e distribuição de insumos. As visitas ocorreram em diferentes turnos e setores, permitindo identificar práticas informais, pontos críticos de armazenamento, dificuldades de acesso aos materiais e eventuais desvios em relação aos procedimentos formais.

Entrevistas semiestruturadas: foram conduzidas sete entrevistas com profissionais de diferentes áreas da unidade, incluindo gerente, atendentes e técnicos de coleta, buscando compreender percepções sobre controle, organização e abastecimento de materiais. As entrevistas permitiram identificar barreiras operacionais, lacunas na comunicação interna e oportunidades de melhoria, além de complementar as observações feitas durante as visitas de campo.

Organização e categorização temática: os dados obtidos foram organizados em categorias temáticas, conforme Bardin (2011), quais sejam: (i) controle e rastreabilidade de materiais; (ii) padronização de processos; (iii) organização física e endereçamento; (iv) comunicação e fluxo de informações entre setores; e (v) níveis de estoque e critérios de reposição. Essa etapa possibilitou identificar padrões de comportamento, deficiências recorrentes e elementos críticos que necessitavam de intervenção.

2.3 Planejamento e execução do inventário

Com base nas análises preliminares, elaborou-se um plano de ação estruturado em etapas detalhadas, sendo as primeiras ações a centralização do estoque e o planejamento e execução do inventário, visando garantir cobertura completa e confiabilidade dos dados.

A centralização do estoque consistiu no agrupamento de todos os materiais da unidade em um único ponto, permitindo a visualização total do estoque e a identificação de itens duplicados, vencidos ou próximos da validade. Essa medida também facilitou a padronização de processos e a definição clara dos fluxos de entrada e saída de materiais. Apenas os itens em uso no processo ficaram fora do almoxarifado central.

O inventário foi planejado considerando o escopo, o método de contagem, a padronização do registro de dados, a formação da equipe e o momento adequado para sua execução:

Definição do escopo: realizou-se um inventário geral, abrangendo todos os materiais da unidade, incluindo itens de coleta, expediente, copa, limpeza e materiais específicos do setor KIDS. Essa abordagem permitiu verificar se a centralização estava sendo

respeitada, contemplando tanto o estoque central quanto os itens em uso nas estações de trabalho. A contagem foi conduzida de forma “cega”, minimizando vieses e aumentando a confiabilidade dos resultados.

Padronização da coleta de dados: foi criada uma planilha padronizada com campos para local, data, responsável pela contagem, identificação do material, quantidade, unidade de medida, validade e observações. Cada grupo recebeu a planilha correspondente ao setor de sua responsabilidade, garantindo uniformidade e consistência nos registros.

Formação e organização da equipe: a equipe foi composta por colaboradores da empresa e integrantes do projeto de pesquisa, divididos em grupos responsáveis por setores específicos. Essa organização assegurou cobertura total e aproveitou o conhecimento prévio dos funcionários sobre os materiais.

Execução temporal: o inventário ocorreu durante o fechamento da unidade, em um final de semana, com duração aproximada de cinco horas, sendo uma hora dedicada ao alinhamento metodológico e quatro horas à contagem física.

Além disso, definiu-se o fluxo de entrada e saída de materiais no estoque centralizado, estabelecendo um sistema rotativo de responsabilidades para monitorar o consumo diário e reduzir distorções decorrentes de interpretações individuais.

Resultados e Discussões

3.1 Análise de Causa e Efeito – Diagrama de Ishikawa

O comprometimento com a qualidade tornou-se um eixo fundamental na gestão atual, assumindo papel estratégico para garantir vantagem competitiva e assegurar a continuidade das organizações. Esse princípio envolve não apenas os produtos e serviços oferecidos, mas também os processos internos e a atuação das pessoas. (Cabral; Zeitouni; Souza, 2017).

O acompanhamento e o controle de processos podem ser realizados por meio de diferentes técnicas (Ishikawa, 1993 apud Lima, Maria e Fernandes, 2017). As chamadas ferramentas da qualidade consistem em métodos de aplicação prática que favorecem a padronização e a melhoria contínua, além de contribuírem para a detecção e solução de falhas (Paulista; Alves, 2015). Em termos gerais, esses instrumentos podem ser definidos como abordagens sistematizadas — de natureza gráfica, analítica ou operacional — que apoiam a execução de estratégias de gestão da qualidade (Paladini, 2004), possibilitando a identificação das origens de problemas, o estabelecimento de prioridades e a promoção de aperfeiçoamentos constantes (Neto, 2009 apud Martins; Lazarin, 2021).

Dentre as ferramentas disponíveis, sobressai o Diagrama de Ishikawa — igualmente conhecido como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe —, utilizado neste

trabalho como recurso para estruturar e examinar os fatores que influenciam os principais desafios relacionados à gestão de estoques da unidade.

No contexto organizacional, o diagrama tem ampla aplicação por possibilitar a disposição clara dos fatores que comprometem os processos e apoiar a definição de decisões gerenciais (Dias et al., 2024). Para tornar a análise mais sistemática, as causas foram classificadas nos seis eixos dos 6M's — Método, Material, Máquina, Medida, Mão de Obra e Meio Ambiente —, o que favorece a identificação das origens das falhas (Barbosa et al., 2024).

No presente estudo, a categorização resultou nos seguintes pontos:

1. Mão de Obra: a falta de treinamentos direcionados às boas práticas de armazenamento e controle de estoque, somada à elevada rotatividade da equipe de coleta, compromete a uniformidade dos procedimentos. Além disso, a inexistência de responsáveis oficialmente designados para cada setor amplia as dificuldades de padronização.
2. Métodos: não há Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) que orientem a movimentação dos materiais. As reposições ocorrem de forma reativa, baseadas apenas na percepção dos colaboradores, sem o suporte de indicadores técnicos. O fluxo de retirada e autorização também não segue um modelo definido, ocasionando falhas e inconsistências.
3. Materiais: o acúmulo de itens de baixa utilização prejudica a rotatividade do estoque. Há, ainda, produtos armazenados sem controle de validade ou lote, incluindo alimentos estocados em condições impróprias.
4. Meio Ambiente: o espaço destinado ao armazenamento apresenta descentralização e desorganização, sem sistema de endereçamento ou sinalização visual, dificultando a rápida localização dos itens. A distribuição irregular nos postos de trabalho — como observado no setor infantil — evidencia ausência de critérios logísticos estruturados.
5. Medições: não existem indicadores de consumo, como giro de estoque, rupturas ou níveis mínimos. Também não são realizados inventários periódicos nem há acompanhamento sistemático das movimentações.
6. Máquinas e Tecnologias: a unidade não dispõe de sistemas informatizados integrados, e ainda há divergência entre os códigos cadastrados nos dois sistemas atualmente em uso, gerando inconsistências nos registros.

3.2 Plano de ação baseado na filosofia Lean

A aplicação do Diagrama de Ishikawa possibilitou evidenciar os pontos mais críticos do processo que demandam intervenções específicas. A partir desses achados, elaborou-se um plano de ação orientado pelos princípios do Lean, priorizando a redução de desperdícios, a padronização das rotinas, o fortalecimento da autonomia da equipe e a entrega contínua de valor tanto para os clientes internos quanto para os externos.

O Lean Manufacturing, ou produção enxuta, tem como propósito central a identificação e eliminação de desperdícios, favorecendo a redução de custos e o aumento da eficiência operacional (Moura; Ignácio, 2024). A metodologia apoia-se em cinco princípios essenciais: definição do que gera valor, mapeamento do fluxo de valor, criação de fluxo contínuo, adoção da produção puxada e busca da excelência por meio da melhoria contínua (Moura et al., 2023). Por sua flexibilidade, essa abordagem pode ser aplicada tanto em processos industriais quanto em atividades de serviços, incluindo o contexto da saúde (Liker, 2005).

No contexto hospitalar, a filosofia enxuta recebe o nome de Lean Healthcare e pode ser aplicada em diferentes setores, incluindo laboratórios de análises clínicas. A sua implementação favorece a utilização eficiente de insumos e promove a melhoria da qualidade dos serviços prestados (Dalpiaz et al., 2024).

A experiência em unidades laboratoriais e hospitalares evidencia que o Lean pode gerar resultados expressivos por meio de intervenções ágeis, de baixo custo e com elevado impacto. Contudo, sua efetividade depende do comprometimento da liderança, da comunicação transparente e do monitoramento contínuo de indicadores de desempenho (Costa; Filho; Almeida, 2019).

Para a implementação da filosofia da manufatura enxuta, diversas ferramentas podem ser utilizadas, destacando-se, neste estudo, o 5S, que contribui para a organização, padronização e melhoria contínua dos processos, com base em cinco sentidos (Braniz et al., 2023):

Seiri (organização): manter apenas itens essenciais e em quantidade adequada, eliminando o desnecessário;

Seiton (ordenação): identificar e sinalizar os locais de armazenamento;

Seiso (limpeza): assegurar a limpeza e organização do ambiente e dos equipamentos;

Seiketsu (controle visual): adotar procedimentos visuais simples para diferenciar situações normais e anormais;

Shitsuke (disciplina): garantir a adesão diária às normas, sem necessidade de supervisão constante.

O plano de ação foi desenvolvido em etapas progressivas, levando em conta a viabilidade, o esforço necessário e o impacto esperado. Sua estrutura baseou-se nos princípios dos cinco sentidos, iniciando com Seiri e Seiton, e avançando até Seiketsu e Shitsuke, garantindo organização, padronização e disciplina nos processos. O plano foi desdobrado em dez etapas, a seguir detalhadas:

Criação de estoque centralizado;

Planejamento e execução do inventário geral;

Padronização de fluxos de entrada, saída e solicitação;

Designação formal de responsáveis por cada etapa;

Categorização por criticidade;

Definição de layout, dimensionamento e endereçamento padronizado do estoque centralizado;

Estabelecimento de indicadores de desempenho (nível mínimo, giro, rupturas etc.);

Desenvolvimento de materiais educativos;

Capacitação prática da equipe, com acompanhamento e feedback;

Revisões mensais para avaliação da maturidade do processo.

O plano de ação foi estruturado com mudanças incrementais e se sustenta pelo monitoramento constante e pela participação ativa da equipe. Espera-se que a gestão de estoques alcance maior previsibilidade, segurança e eficiência, reduzindo retrabalho, perdas e inconsistências entre setores.

Execução do plano de ação e resultados obtidos

A execução do plano de ação iniciou-se pela centralização do estoque, momento em que foi definido o espaço mais adequado para a manutenção dos materiais. A centralização é uma prática amplamente difundida na gestão de estoques, fundamentada no princípio do compartilhamento de recursos e riscos, proporcionando maior visibilidade, controle, facilidade de planejamento, comunicação eficiente e integração entre equipes (Gasnier, 2002). Essa etapa confirmou as observações preliminares quanto à existência de volumes excessivos e redundantes, além de itens vencidos ou próximos do vencimento.

Na sequência, foi realizado o planejamento do inventário, definido como a contagem integral de todos os materiais da unidade — incluindo itens de coleta, expediente, copa, limpeza e os exclusivos do setor KIDS. O inventário geral consistiu em uma contagem física em data pré-definida e a portas fechadas, garantindo maior precisão e confiabilidade nos registros (Gasnier, 2002). Para minimizar vieses, o procedimento foi conduzido de forma “cega”.

O inventário ocorreu durante um final de semana, aproveitando o fechamento da unidade, com duração aproximada de cinco horas, sendo uma hora dedicada ao alinhamento metodológico e quatro horas à execução da contagem. Participaram dez pessoas: quatro colaboradores da empresa e seis integrantes do projeto de pesquisa. A contagem foi organizada por localidade, abrangendo tanto o estoque central quanto os materiais em processo (distribuídos nas estações de trabalho), assegurando cobertura completa. Para registro, foi elaborada uma planilha padronizada, contemplando variáveis como: local, data, responsável pela contagem, nome do material, quantidade, unidade de medida, validade e observações.

Os resultados do inventário pós-centralização evidenciaram a manutenção de quantidades excessivas nas estações de trabalho, superiores ao consumo diário, bem

como falhas no atendimento ao princípio FIFO (First In, First Out). Essa inadequação resultou no armazenamento de itens próximos do vencimento atrás de produtos mais novos, além da permanência de materiais vencidos. A ausência de um método padronizado de armazenagem contribui para ineficiências operacionais. Nesse contexto, a implementação do modelo FIFO surge como alternativa viável, uma vez que orienta a expedição dos produtos mais antigos antes dos mais recentes, reduzindo perdas, aumentando o giro do estoque e promovendo maior eficiência operacional (Barbieri e Machline, 2017; Dias, 2010).

Ainda no âmbito da gestão, foi definido o fluxo de entrada e saída de materiais do estoque centralizado. Para isso, elaborou-se uma planilha de controle para registro das retiradas. A responsabilidade de retirada passou a ser distribuída rotativamente, com periodicidade mensal, sob supervisão da gerente da unidade. Essa prática visa mensurar de forma precisa o consumo diário e reduzir distorções decorrentes da atuação de múltiplos colaboradores.

As quatro primeiras etapas mostraram-se essenciais para estabelecer um patamar mínimo de organização e controle dos estoques. Contudo, as etapas posteriores são igualmente estratégicas para a produtividade e eficiência da unidade e foram planejadas para momentos subsequentes da pesquisa.

Entre elas, destaca-se a classificação da criticidade dos itens, iniciada pela gerente da unidade por meio de um questionário on-line elaborado pelo projeto de pesquisa. Essa categorização permite segmentar os materiais segundo o impacto de sua falta, facilitando a priorização adequada (Gasnier, 2002).

Outra medida prevista é a reorganização do layout do almoxarifado, segmentando os espaços de acordo com a análise de criticidade. O layout exerce influência direta na eficiência operacional e na redução de custos logísticos, uma vez que considera fatores como tipo de produto, rotatividade, urgência e regime de atendimento. Quando bem planejado, integra recursos tecnológicos, fluxo de materiais e trabalho humano, resultando em maior produtividade, menor tempo de manuseio e melhor aproveitamento do espaço (Dias, 2010).

De forma complementar, o dimensionamento do estoque define a capacidade cúbica total (comprimento, largura e altura), prevenindo gargalos em períodos de maior movimento e evitando ociosidade ou custos excessivos em períodos de baixa demanda (Ballou, 2007). Assim, layout e dimensionamento configuram decisões estratégicas interdependentes: o primeiro organiza os fluxos internos e agiliza a separação de pedidos, enquanto o segundo assegura capacidade adequada ao longo do tempo.

Por fim, destaca-se que as etapas finais são determinantes para consolidar as mudanças propostas, monitorar resultados e promover a melhoria contínua da gestão de estoques.

Análise dos resultados

Embora as etapas subsequentes do plano de ação ainda estejam em desenvolvimento, a aplicação inicial já revelou evidências relevantes sobre a gestão de estoques. A centralização e o inventário geral permitiram identificar volumes excessivos, materiais

vencidos ou próximos do vencimento e falhas na organização das estações de trabalho. Tais deficiências estão diretamente relacionadas a perdas de materiais, aumento de custos e comprometimento da eficiência operacional.

Os resultados confirmam a pertinência das etapas executadas, demonstrando que as intervenções iniciais possibilitaram:

Identificar problemas críticos de armazenamento e fluxo de materiais;

Subsidiar a padronização de processos e a adoção do método FIFO;

Fornecer dados confiáveis para definição de indicadores de desempenho e monitoramento contínuo;

Assim, as primeiras ações não apenas validaram o plano de intervenção, mas também forneceram uma base sólida para decisões futuras, permitindo que as próximas fases da pesquisa se apoiem em informações consistentes.

Além disso, os achados reforçam que intervenções estruturadas, graduais e de baixo custo podem gerar impactos significativos já nas etapas iniciais, contribuindo para maior eficiência operacional, redução de perdas e otimização de recursos, em consonância com os princípios do Lean Manufacturing (Costa; Filho; Almeida, 2019).

Conclusão

O presente estudo analisou a gestão de estoques de um laboratório de análises clínicas, com o objetivo de diagnosticar falhas operacionais e propor melhorias capazes de aumentar a eficiência, reduzir desperdícios e aprimorar a competitividade da unidade.

Para atingir esse objetivo, foi conduzido um estudo de caso, iniciado com o diagnóstico do processo por meio de visitas à unidade, benchmarking interno e entrevistas semiestruturadas com colaboradores de diferentes setores. Essas etapas permitiram estruturar os dados e interpretar padrões de comportamento relacionados à gestão de estoques, organização física, fluxos de materiais e comunicação interna, evidenciando deficiências críticas, como ausência de processos padronizados, falta de indicadores de desempenho e inconsistências na organização física, resultando em volumes excessivos, itens duplicados e materiais próximos ou já vencidos.

Com base nessas evidências, foi elaborado um plano de ação estruturado em dez etapas, fundamentado nos princípios do Lean Healthcare, contemplando a centralização do estoque, o inventário, a padronização de fluxos de entrada e saída, a definição de responsáveis, estabelecimento de indicadores de desempenho, a capacitação prática da equipe, o desenvolvimento de materiais educativos e as revisões periódicas para avaliação da maturidade do processo. O plano visa criar um ciclo de melhoria contínua,

envolvendo os colaboradores e promovendo maior previsibilidade, segurança e eficiência operacional.

A implementação do plano foi iniciada com a centralização dos estoques e o levantamento integral dos materiais, incluindo itens de coleta, expediente, copa, limpeza e materiais exclusivos do setor KIDS. O inventário contemplou tanto os materiais armazenados quanto os em uso nas estações de trabalho, permitindo identificar com precisão excessos, faltas e inconsistências, servindo como base confiável para os indicadores e para a reorganização física do estoque.

Os resultados obtidos demonstram que intervenções estruturadas e graduais podem gerar impacto significativo mesmo nas fases iniciais do processo, aumentando o controle sobre recursos e reduzindo perdas materiais. Recomenda-se que pesquisas futuras apliquem indicadores de desempenho consolidados em outras unidades hospitalares, analisem o impacto econômico das intervenções Lean e avaliem o engajamento da equipe ao longo do tempo. Estudos complementares poderiam explorar metodologias quantitativas para mensurar ganhos financeiros e operacionais decorrentes da implementação das melhorias propostas.

Em síntese, a pesquisa confirma a relevância da investigação científica para diagnosticar fragilidades operacionais, propor soluções viáveis e promover uma cultura de melhoria contínua em ambientes laboratoriais, fornecendo subsídios concretos para a gestão de estoques eficiente e sustentável.

Referências

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. 5. ed. Tradução de Raul Rubenich. Porto Alegre: Bookman, 2007.

BARBIERI, J. C.; MACHLINE, C. et al. Logística hospitalar: teoria e prática. 3ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

BRANIZ, A. C. et al. Evento Kaizen para melhoria do ambiente de trabalho: estudo de caso em um açougue de supermercado. Anais do XLIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Fortaleza, Ceará, Brasil. 2023.

CABRAL, A. C. S.; ZEITOUNI, M. M. S.; SOUSA, M. A. de. Análise da aplicação de ferramentas básicas da qualidade em uma empresa distribuidora de medicamentos. Anais do XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Joinville, Santa Catarina, Brasil. 2017.

COSTA, D. S. et al. Lean Healthcare: uma revisão sistemática da literatura nacional. Revista Gestão & Tecnologia, v. 19, n. 1, p. 146–165, 2019.

DALPIAZ, G. et al. Lean Healthcare em laboratórios de análises clínicas: uma revisão, análise e síntese da literatura. Anais do XLIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. 2024.

DIAS, Marco Aurélio P. Administração de materiais: uma abordagem logística. 5ª Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GASNIER, Daniel Georges. A dinâmica dos estoques: guia prático para planejamento, gestão de materiais e logística. 1ª Ed. São Paulo: IMAM, 2002.

LIKER, J. K. O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIMA, D. M. L. de; MAIA, J. A.; FERNANDES, R. M. F. Aplicação das ferramentas da qualidade na finalização de orçamentos em uma empresa de comunicação visual. Anais do XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Joinville, Santa Catarina, Brasil. 2017.

MARTINS, T. S. C.; LAZARIN, D. F. A aplicação de ferramentas da qualidade em uma empresa do setor terciário. Anais do XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. 2021.

MOURA, L. P. G. de; IGNÁCIO, P. S. A. Aplicação da filosofia lean na prestação de serviços de saúde. Anais do XLIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. 2024.

MOURA, B. L. C. de et al. O Lean Healthcare aplicado ao setor de alto custo de um hospital universitário do Rio Grande do Norte. Anais do XLIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Fortaleza, Ceará, Brasil. 2023.

PALADINI, E. P. Gestão da qualidade: teoria e prática. Atlas, São Paulo, 2004.

PAULISTA, P. H.; ALVES, R. A. Ferramentas da qualidade: uma revisão bibliográfica e análise de publicações no ENEGEP. Anais do III Simpósio de Engenharia de Produção. João Pessoa, Paraíba, Brasil. 2015.

SAHA, E.; RAY, P. K. Modelling and analysis of healthcare inventory management systems. OPSEARCH 56, 1179–1198 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12597-019-00415-x>. Acesso em: 01 mai. 2025.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

CÓDIGO: ET1395

AUTOR: IAGO MIRANDA BESERRA GURGEL SENA

ORIENTADOR: OLAVO FRANCISCO DOS SANTOS JUNIOR

TÍTULO: Caracterização Geotécnica de Solos da Cidade de Mossoró-RN para Fins de Planejamento Urbano

Resumo

O crescimento acelerado do município de Mossoró, no Rio Grande do Norte, impulsiona a demanda por obras de infraestrutura, destacando a necessidade de um planejamento territorial embasado, entre outras coisas, em dados geotécnicos. Este estudo tem como objetivo a caracterização de seis amostras de solo da região, utilizando os ensaios de análise granulométrica, limites de Atterberg e massa específica. A partir dos resultados, a classificação dos materiais foi realizada segundo os sistemas SUCS e AASHTO, permitindo a avaliação de sua aptidão para diferentes aplicações na construção civil. Os resultados revelaram uma significativa variabilidade geotécnica, identificando solos que vão desde areias siltosas de excelente qualidade para uso rodoviário (A-2-4), até solos de alta compressibilidade e plasticidade, com qualidade inferior (A-7-5 e A-7-6). Conclui-se que, mesmo com a caracterização básica, é possível obter dados iniciais para o planejamento de obras que posteriormente podem ser estudados mais a fundo.

Palavras-chave: Caracterização de solos, AASHTO, SUCS, Planejamento urbano, Mossoró

TITLE: Geotechnical Characterization of Soils in the City of Mossoró-RN for Urban Planning Purposes

Abstract

The accelerated growth of the municipality of Mossoró, in Rio Grande do Norte, drives the demand for infrastructure works, highlighting the need for territorial planning based, among other things, on geotechnical data. This study aims to characterize six soil samples from the region, using particle size analysis, Atterberg limits, and specific gravity tests. Based on the results, the materials were classified according to the USCS and AASHTO systems, allowing for the evaluation of their suitability for various civil engineering applications. The results revealed significant geotechnical variability, identifying soils ranging from excellent quality silty sands for road use (A-2-4) to

highly compressible and plastic soils of inferior quality (A-7-5 and A-7-6). It is concluded that, even with basic characterization, it is possible to obtain initial data for project planning that can be further studied in depth.

Keywords: Soil characterization, AASHTO, USCS, Urban planning, Mossoró.

Introdução

1 Introdução

O município de Mossoró, localizado na região Oeste do estado do Rio Grande do Norte, destaca-se como a segunda maior cidade do estado e apresenta acelerado processo de crescimento urbano e econômico. Sua relevância se expressa em setores estratégicos, como a produção de petróleo e gás, a indústria salineira, a exploração de calcário para produção de cimento e a indústria cerâmica. Mais recentemente, o município tem se consolidado também como polo de energias renováveis, em especial pela instalação de parques eólicos e solares (DUARTE 2019). Esse cenário de diversificação econômica tem impulsionado a expansão da malha urbana e o aumento da demanda por obras de infraestrutura, edificações e rodovias.

Entretanto, o crescimento territorial e populacional de Mossoró ocorre em uma região semiárida, onde predominam condições climáticas e geológicas que influenciam significativamente a formação e o comportamento dos solos locais (VITAL et al. 2013). Em regiões com elevada variabilidade granulométrica e presença de frações finas, a identificação das propriedades geotécnicas torna-se etapa fundamental para subsidiar projetos de engenharia civil. Características como plasticidade, granulometria e densidade dos grãos sólidos afetam diretamente o desempenho dos solos em aplicações construtivas, podendo definir sua capacidade de uso em camadas de pavimentação, aterros compactados ou fundações rasas.

Nesse contexto, a caracterização laboratorial dos solos é de grande importância, pois fornece dados objetivos para classificá-los de acordo com sistemas internacionalmente reconhecidos, como o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e o sistema da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). O primeiro é amplamente aplicado em projetos de fundações e obras geotécnicas em geral, enquanto o segundo é utilizado como critério para avaliação de materiais em projetos rodoviários. Dessa forma, a aplicação combinada dos dois sistemas permite não apenas compreender melhor o comportamento dos solos, mas também avaliar seu potencial de uso em diferentes segmentos da construção civil.

Considerando a necessidade de expansão planejada e segura da cidade, é fundamental identificar as características físicas e de consistência dos solos de Mossoró, podendo orientar decisões sobre a viabilidade de obras em determinadas áreas, bem como contribuir para a escolha de técnicas construtivas mais adequadas. Além disso, o estudo de solos em municípios como Mossoró agrega conhecimento científico à geotecnia regional.

Assim, o presente estudo tem como objetivo principal apresentar a caracterização de seis amostras de solos coletados no município de Mossoró/RN. Foram realizados ensaios de granulometria, limites de Atterberg e densidade dos sólidos, parâmetros que possibilitam a classificação dos materiais segundo os sistemas SUCS e AASHTO. A partir dessa classificação, discute-se a aplicabilidade dos solos em diferentes usos na construção civil, destacando sua relevância para projetos de pavimentação e infraestrutura urbana no município.

Metodologia

2 Materiais e Métodos

O estudo analisa as características físicas de amostras deformadas dos solos da região de Mossoró através dos ensaios de caracterização. A escolha do município de Mossoró foi motivada por ser uma região com grande potencial de expansão urbana e industrial, além dos crescentes investimentos em energias renováveis na região.

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido no município de Mossoró, localizado na Mesorregião Oeste Potiguar do estado do Rio Grande do Norte. A sua posição geográfica estratégica, a 281 km de Natal (RN) e 237 km de Fortaleza (CE), a consolida como um importante polo regional no semiárido.

Geologicamente, o município está contido na Bacia Potiguar, com sua composição litoestratigráfica abrangendo, principalmente, a Formação Jandaíra, o Grupo Barreiras e depósitos aluvionares.

No estudo foram analisadas seis amostras de solos coletadas em pontos distintos do município de Mossoró, abrangendo áreas com características geológicas variadas. O material foi coletado a uma profundidade de 60 cm da superfície do terreno. As amostras foram devidamente acondicionadas em baldes com sacos plásticos dentro e devidamente identificados, para garantir a preservação das características até o momento da realização dos ensaios. A localização de cada ponto de amostragem pode ser visualizada na Figura 1, que apresenta um mapa da área de estudo.

2.2. Ensaios laboratoriais

Os ensaios de caracterização foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Todos os procedimentos seguiram as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os ensaios realizados incluíram: análise granulométrica, determinação dos limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) e determinação da densidade dos sólidos. Esses ensaios são fundamentais para a compreensão do comportamento físico dos solos e formam a base para sua classificação nos sistemas SUCS e AASHTO.

A análise granulométrica foi realizada em duas etapas: o peneiramento a seco para partículas maiores e o método da sedimentação, baseado na Lei de Stokes, para partículas menores que 0,075 mm (silte e argila). O peneiramento foi conduzido conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016), com uso de agitador mecânico e conjunto de peneiras padrão. A partir dos dados obtidos, foram traçadas as curvas granulométricas para cada solo, o que possibilitou avaliar a uniformidade, a graduação e a dominância de frações granulométricas dos materiais analisados.

A determinação dos limites de Atterberg foi feita conforme as normas NBR 6459 (limite de liquidez) e NBR 7180 (limite de plasticidade). O limite de liquidez foi determinado utilizando o aparelho de Casagrande, com a contagem de golpes necessária para fechar uma ranhura padronizada em amostra de solo na concha do aparelho. O limite de plasticidade foi obtido por meio da moldagem manual da pasta de solo em forma de fios cilíndricos. Esses fios foram rolados até atingirem aproximadamente 3 mm de diâmetro e se romperem. A umidade correspondente a essa ruptura determina o limite de plasticidade. A partir desses dois parâmetros, foi calculado o Índice de Plasticidade (IP). Este índice fornece informações sobre a plasticidade e o comportamento coesivo do solo, sendo um critério fundamental para sua classificação.

A massa específica dos sólidos foi determinada utilizando o método do picnômetro, conforme descrito na NBR 6458 (ABNT, 2025). Esse ensaio permite a obtenção da densidade relativa dos grãos do solo (ρ_s), um parâmetro essencial para o cálculo de outras propriedades físicas, como porosidade, grau de saturação e massa específica aparente seca. O ensaio foi conduzido com dois picnômetros de 500ml, que foram anteriormente calibrados para melhorar a precisão do ensaio. Para calibração mediu-se a massa do frasco seco (figura 2) e depois cheio de água variando sua temperatura na faixa de 20°C a 35°C, assim determinando a curva característica em relação a massa do picnômetro e a variação de temperatura (figura 3).

Com os resultados dos ensaios laboratoriais em mãos, foi realizada a classificação dos solos segundo dois sistemas amplamente utilizados na engenharia civil: o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e o sistema da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

O SUCS, baseado na NBR 6502 (ABNT, 1995), considera a distribuição granulométrica e os limites de consistência para classificar o solo em grupos como pedregulhos (G), areias (S), siltes e argilas (M e C), com subgrupos definidos pelo grau de plasticidade e presença de finos.

Termos e símbolos utilizados (SUCS):

SOLOS GROSSOS:

G = gravel (pedregulho)

S = sand (areia)

W = well graded (bem graduado)

P = poorly graded (mal graduado)

C = clay (com argila) F = fine (com finos)

SOLOS FINOS: L = low (baixa compressibilidade)

H = high (alta compressibilidade)

M = mo (silte em sueco)

O = organic (silte ou argila, orgânicos)

C = clay (argila inorgânica)

TURFAS (Pt): Solos muito orgânicos e muito compressíveis

Já o sistema AASHTO, conforme a ASTM D3282, é voltado para aplicações em projetos de pavimentação e classifica os solos com base em critérios de peneiramento e propriedades plásticas, organizando-os em grupos de A-1 a A-7, com subgrupos que indicam a adequação para uso rodoviário.

Os dados foram anotados em planilhas padronizadas de controle e repetidos quando necessário. Os dados foram posteriormente organizados em tabelas e gráficos, facilitando a comparação de resultados e a análise crítica de suas propriedades variadas.

Resultados e Discussões

3 Resultados e discussões

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade, massa específica do solo e posteriormente a classificação dos solos segundo os sistemas SUCS e AASHTO.

3.1 Curvas Granulométricas

As propriedades físicas dos solos analisados, obtidas por meio dos ensaios de caracterização, são fundamentais para a sua classificação e para a compreensão de seu comportamento geotécnico. A análise granulométrica, cujos resultados são ilustrados por meio de curvas nas Figuras 4 a 9, demonstra a grande variabilidade dos materiais coletados na área de estudo.

Figura 4 - Curva granulométrica AM 1

Como mostra a análise granulométrica, a amostra AM 1 é predominantemente granular, com apenas 26,2% de material passando na peneira nº 200. Com 73,8% de areia, 16,5% de silte e 9,7% de argila.

Figura 5 - Curva granulométrica AM 2

Na amostra AM 2, cerca de 35,3% do material passou na peneira nº 200. A granulometria se distribui em 60,2% de areia, 10,8% de silte e 24,5% de argila.

Figura 6 - Curva granulométrica AM 3

A amostra AM 3 apresenta 42,3% de material passante na peneira nº 200. Sua composição granulométrica é de 57,7% de areia, 23,2% de silte e 19,1% de argila.

Figura 7 - Curva granulométrica AM 4

A amostra AM 4 indica a predominância da fração fina, com aproximadamente 63,9% de material passando na peneira nº 200. A sua composição é de 31,6% de areia, 14,3% de silte e 49,6% de argila.

Figura 8 - Curva granulométrica AM 5

Na amostra AM 5 a fração fina é dominante, com 65,8% de material passando na peneira nº 200. A distribuição granulométrica é de 34,2% de areia, 35,7% de silte e 30,1% de argila.

Figura 9 - Curva granulométrica AM 6

A amostra AM 6 apresenta aproximadamente 37,8% de material passante na peneira nº 200. A sua composição é de 55,1% de areia, 17,5% de silte e 20,3% de argila.

3.2 Limites de Atterberg e o Comportamento do Solo

Os limites de Atterberg são parâmetros de consistência que fornecem informações cruciais sobre o comportamento coeso dos solos de granulometria fina. Os valores de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP), obtidos para as seis amostras, estão resumidos na Tabela 1.

A análise dos resultados de consistência indica uma grande variação no comportamento plástico das amostras. A amostra AM 1 apresenta um Índice de Plasticidade (IP) de 5%. Esse resultado é comportamento típico de solos predominantemente arenosos ou siltosos, sem uma fração significativa de argila que confira plasticidade.

As amostras AM 2, AM 3 e AM 6 exibem uma plasticidade média. Seus Índices de Plasticidade variam entre 6% e 10%. Esses valores indicam que, apesar da presença de finos, o solo não apresenta uma variação de volume excessiva com a alteração de umidade, tornando-o mais estável em comparação com materiais de alta plasticidade.

Em contraste, as amostras AM 4 e AM 5 são caracterizadas por um comportamento de plasticidade mais alta que as demais, com índices de Plasticidade de 17% e 29%, respectivamente. Esses valores elevados indicam que os solos são mais suscetíveis a grandes variações de volume, como expansão e retração, podendo se tratar de solos problemáticos para construção civil.

3.3 Classificação do Solo

Com base nas propriedades físicas e de consistência, a classificação dos solos nos sistemas SUCS e AASHTO foi realizada, conforme apresentado na Tabela 2.

A análise dos resultados de classificação permite uma discussão aprofundada sobre as propriedades de engenharia de cada material e suas implicações para o planejamento da expansão de infraestrutura em Mossoró.

As amostras AM 1, AM 2 e AM 6 têm predominância de Areia e Silte. As amostras AM 1 e AM 2 foram classificadas como Areia Silto-Argilosa (SM-SC) no sistema SUCS e A-2-4 no AASHTO, sendo consideradas de qualidade com boa capacidade de suporte, usado para subleitos e sub-bases de pavimentos. A amostra AM 6 foi classificada como Areia Argilosa (SC) no SUCS e A-2-4 no AASHTO, indicando que, apesar de ser um solo com fração fina, tem um comportamento favorável para obras. Essa classificação sugere que esses materiais podem ser utilizados como subleito em pavimentos, desde que seja realizado um controle rigoroso de umidade e compactação.

A amostra AM 3 é classificada como Areia Siltosa (SM) no SUCS e A-4 no AASHTO. Solos classificados como A-4 são considerados de qualidade de regular a boa e podem ser usados como subleito de pavimentos.

As amostras AM 4, AM 5 tem predominância finos de são classificadas como solos coesivos. A amostra AM 4 é classificada como Silte de Baixa Compressibilidade (ML) e A-7-6 no AASHTO, e a amostra AM 5, classificada como Silte de Alta Compressibilidade (MH) e A-7-5 no AASHTO, indicam que esses solos são suscetíveis a grandes variações de volume com a alteração de umidade, o que pode comprometer a estabilidade de pavimentos e estruturas.

3.4 Resumo

Na tabela 3 vemos o quadro de resumo dos resultados obtidos através dos ensaios laboratoriais realizados e classificações dos sistemas SUCS e AASHTO. Na tabela é possível observar as diferenças entre as amostras de solo estudadas. A figura 10 mostra um gráfico comparando as frações granulométricas de cada amostra.

Conclusão

4 Conclusões

Este estudo demonstrou a grande diversidade geotécnica dos solos do município de Mossoró, evidenciando a importância de investigações preliminares para o planejamento e a execução de obras de engenharia civil na região. A partir da caracterização e classificação das seis amostras de solo, foi possível obter dados para a análise do seu comportamento físico e mecânico.

A aplicação dos sistemas de classificação SUCS e AASHTO revelou que os solos de Mossoró apresentam variações que vão desde materiais de alta qualidade para pavimentação, como a amostra AM 1, classificada como Areia Siltosa (SM) com Índice de Grupo 0, até solos de baixa qualidade, como a amostra AM 4, classificada como Argila de Alta Plasticidade (CH) com Índice de Grupo 25. Essa diversidade reforça a tese de que a geologia local, influenciada pelo clima semiárido, resulta em uma complexa composição pedológica, o que demanda atenção e planejamento em novos empreendimentos.

Os resultados obtidos fornecem uma base sólida para orientar a expansão urbana de Mossoró de forma mais segura e economicamente viável. Os resultados obtidos podem orientar futuras investigações geotécnicas na área. O conhecimento prévio sobre as áreas com solos de melhor aptidão para a construção civil, pode otimizar o uso de recursos, enquanto a identificação de solos problemáticos, como as amostras AM 4 e AM 5, alerta para a necessidade de medidas mitigadoras, como o uso de materiais de substituição ou a estabilização de solo.

Como continuidade, recomenda-se a expansão do mapeamento geotécnico para outras áreas do município. Além disso, a realização de ensaios mais aprofundados, como o de resistência ao cisalhamento e triaxial, pode complementar este estudo e fornecer dados ainda mais detalhados sobre o comportamento dos solos. Essas ações contribuirão para aprimorar o conhecimento sobre a geotecnia regional, embasando o desenvolvimento de Mossoró de maneira sustentável e ordenada.

Referências

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457 - Amostras de solo -

Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459 – Solo Determinação

do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180 – Solo
Determinação

do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181 - Solo – Análise
granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6458 - Solo –
Determinação da massa específica dos sólidos, da massa específica aparente e da
absorção de água da fração retida na peneira com abertura de 2,0 mm. Rio de Janeiro,
2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: Rochas e solos
– Terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F.; ARAUJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B. Solos
do Nordeste. Recife: Embrapa, 2014.

VARGAS, M. Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo: McGraw-Hill, Editora da
Universidade de São Paulo, 1977.

SGB - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Geologia e recursos minerais
da folha Mossoró. Recife: CPRM, 2014.

OLIVEIRA, Jionaldo Pereira de. UMA ANÁLISE DA FORMAÇÃO E EXPANSÃO
DO URBANO DE MOSSORÓ: DINÂMICA E CONTRADIÇÕES. PENSAR
GEOGRAFIA, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 50–71, 2020

DUARTE, Meire Eugênia. Evolução econômica do município de Mossoró/RN. 2019.
118f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Centro de Ciências Sociais Aplicadas,
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

VIEIRA, Bianca Alencar. Análise do comportamento geotécnico de seis solos
representativos de unidades pedológicas da região de Mossoró-RN. 2025. 91 f. Tese
(Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina
Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2025.

SILVA, Leonardo dos Santos. Caracterização petrográfica de rochas carbonáticas da
Formação Jandaíra com ênfase na resistência mecânica aplicada a construções de
grande porte. Orientadora: Marcela Marques Vieira. 2022. 57 f. Trabalho de Conclusão
de Curso (Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal
do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

VITAL, H. et al. Geologia e recursos minerais da folha Jandaíra. Recife: CPRM, 2013.
Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/17679/2/jandaira_notas.pdf.
Acesso em: 27 ago. 2025.

DIRKSEN, Sophia Scharf. Caracterização e classificação de solos da bacia do Rio Pirai nas adjacências da área de implantação do campus da UFSC Joinville. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mossoró - Panorama. 2023. Disponível em: . Acesso em: 28 set. 2025.

Anexos



Figura 1 - Mapa das Unidades Litoestratigráficas do Município de Mossoró. Fonte: (Vieira, 2025)



Figura 2: Paisagem dos picnômetros. Fonte: Elaboração do autor (2025)



Figura 3: Curva de calibração picnômetros. Fonte: Elaboração do autor (2025)



Figura 4 - Curva granulométrica AM 1 . Fonte: Elaboração do autor (2025).



Figura 5 - Curva granulométrica AM 2 . Fonte: Elaboração do autor (2025).



Figura 6 - Curva granulométrica AM 3 . Fonte: Elaboração do autor (2025).



Figura 7 - Curva granulométrica AM 4 . Fonte: Elaboração do autor (2025).



Figura 8 - Curva granulométrica AM 5 . Fonte: Elaboração do autor (2025).



Figura 9 - Curva granulométrica AM 6 . Fonte: Elaboração do autor (2025).



Tabela 1 - Limites de Atterberg e índice de plasticidade. Fonte: Elaboração do autor



Tabela 2 - Classificação das amostras. Fonte: Elaboração do autor



Tabela 3 - Resumo comparativo das amostras. Fonte: Elaboração do autor



Figura 10 frações granulométricas. Fonte: Elaboração do Autor

CÓDIGO: ET1404

AUTOR: JOÃO PEDRO FREIRE DE ALBUQUERQUE

ORIENTADOR: VICTOR ARAUJO FERRAZ

TÍTULO: Implementação de lógica sintetizada em FPGA de redes neurais convolucionais (CNN) para o TileCal do Experimento ATLAS

Resumo

O presente trabalho busca investigar o uso de redes neurais convolutivas (CNNs) no processamento digital dos sinais resultantes de colisões próton-próton, detectados pelo Calorímetro Hadrônico de Telhas (TileCal). Para isso, visa-se a implementação dos modelos de rede desenvolvidas em software em *Field Programmable Gate Arrays*, ou FPGA na tentativa de diminuir o tempo de latência na filtragem desses dados, utilizando ferramentas de *High Level Synthesis*, como o hls4ml, para otimizar o tempo de desenvolvimento desses modelos de rede.

Assim, espera-se reduzir o efeito do fenômeno de empilhamento de sinais, comum no TileCal e assim, evitando o armazenamento de sinal ruidoso e assim, melhorando a qualidade estatística dos dados utilizados como objeto de estudo por cientistas da área de física de altas energias.

Palavras-chave: Redes neurais convolucionais – FPGA – TileCal – ATLAS – LHC

TITLE: Implementation of Synthesized Logic on FPGA for Convolutional Neural Networks (CNNs) in the TileCal of the ATLAS Experiment

Abstract

This work aims to investigate the use of convolutional neural networks (CNNs) in the digital processing of signals resulting from proton-proton collisions, detected by the Tile Calorimeter (TileCal). The goal is to implement the network models developed in software on Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) in an effort to reduce latency in filtering these data, using High-Level Synthesis tools, such as hls4ml, to optimize the development time of these network models.

In this way, the aim is to mitigate the effect of the signal pile-up phenomenon, which is common in TileCal, thereby avoiding the storage of noisy signals and improving the statistical quality of the data used as a study object by researchers in the field of high-energy physics.

Keywords: Convolutional Neural Networks – FPGA – TileCal – ATLAS – LHC

Introdução

A física de altas energias investiga partículas subatômicas e suas interações com a matéria. O experimento ATLAS (*A Toroidal LHC ApparatuS*) [1], conduzido no LHC (*Large Hadron Collider*) do CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) [2], é um dos principais exemplos. Nele, colisões próton-próton produzem enormes quantidades de dados que precisam ser analisados e filtrados rapidamente. Para isso, são utilizados sistemas eletrônicos complexos e técnicas de processamento avançadas. Entre essas técnicas estão as redes neurais artificiais, que imitam o funcionamento das redes biológicas para realizar tarefas como classificação, regressão e reconstrução de sinais.

As colisões no LHC acontecem a uma taxa de 40 MHz [3], o que gera milhares de terabytes de informação por minuto. Apenas uma fração mínima desses dados é armazenada, após passar pelos sistemas de *trigger*, que decidem em microssegundos quais eventos têm valor científico. Um desafio central é o *pile-up*, fenômeno em que diferentes interações acontecem no mesmo intervalo de tempo, sobrepondo sinais e degradando a qualidade da informação. No TileCal (*Tile Calorimeter*) [4], ou Calorímetro Hadrônico de Telhas, o efeito do *pile-up* pode comprometer a resolução dos dados, causar adulterações e até perdas de medidas.

Segundo o calendário do LHC, em 2026 começará o *Long Shutdown 3* [5], período de atualizações e melhorias que antecede o funcionamento do HL-LHC (*High Luminosity LHC*), previsto para 2030. O HL-LHC terá luminosidade muito maior e deve gerar até 200 interações simultâneas por evento. Esse aumento vai intensificar o *pile-up*, tornando o trabalho dos sistemas de *trigger* ainda mais complexo. Para lidar com esse cenário, novas técnicas de aprendizado profundo são investigadas. As CNNs (*Convolutional Neural Network*) são destacadas por sua capacidade de identificar padrões relevantes em dados altamente ruidosos e segmentados, oferecendo ganhos de seletividade e precisão.

A necessidade de decisões em baixa latência exige execução em hardware dedicado. FPGAs (*Field Programmable Gate Array*) [6] permitem a implementação das redes neurais diretamente em lógica programável, com operação em tempo real e paralelismo massivo. Esse tipo de abordagem aumenta a tolerância ao *pile-up* e melhora a reconstrução de energia no TileCal.

Este estudo foca no desenvolvimento e implementação de CNNs em FPGA para o TileCal. O trabalho envolve o uso de ferramentas como hls4ml [7], além de bibliotecas como Keras, TensorFlow e Scikit-learn [8], que permitem projetar, treinar e converter redes neurais para hardware. Ao unir aprendizado de máquina e física de altas energias,

o estudo busca não só melhorar a eficiência do trigger de nível 1 do ATLAS, mas também estabelecer soluções práticas para o futuro regime de altas taxas do HL-LHC.

Metodologia

O presente trabalho baseia-se em uma metodologia de experimentação, análise e aprimoramento. Tomando como base a grande segmentação dos dados provenientes do ATLAS, investiga-se a utilização dessas informações na entrada das RNAs (Rede Neural Artificial), produzindo novos modelos especializados a partir de algoritmos de *deep learning* como as CNNs. Abordar a problemática do grande volume de dados dessa forma, exige a utilização de uma enorme quantidade de amostras, envolvendo tanto os subconjuntos de dados coletados pelo TileCal, quanto os dados experimentais sintetizados baseados em simulação Monte Carlo [9], usados para simular colisões em aceleradores como o LHC, garantindo a diversidade e realismo nos cenários de treinamento.

Desse modo, procura-se investigar o uso das principais bibliotecas para aprendizado de máquina, disponíveis na versão 3.12.9 do Python. Para reduzir o tempo de latência de processamento, as redes desenvolvidas em software foram transpostas para lógica digital, utilizando a ferramenta de hls4ml, que traduz os códigos desenvolvidos a partir de pacotes como o Keras, por exemplo, em *Register-Transfer Level* (RTL) através de ferramentas de HLS (High-Level Synthesis). Assim, com o intuito de fornecer ao FPGA embarcado uma maior robustez na classificação dos eventos captados pelo calorímetro hadrônico de telhas, utiliza-se como meio de experimentação o ambiente de desenvolvimento integrado Visual Studio Code, onde as redes neurais podem ser desenvolvidas com auxílio das bibliotecas supracitadas e em seguida, implementadas em HDL (*Hardware Description Language*) e passadas para o kit de desenvolvimento.

Em um primeiro momento, estudou-se a teoria e prática das arquiteturas de aprendizado de máquina adequadas ao problema inicial de mitigar o efeito de *pileup* no TileCal. Investigou-se a acurácia de modelos menos robustos, como a arquitetura de *Multi Layer Perceptron* (MLP) na classificação dos eventos captados pelo calorímetro. Nessa etapa, dividiu-se o *dataset* proveniente do experimento ATLAS utilizando a técnica de validação cruzada chamada de K-Fold, disponível na biblioteca do SciKit Learn. Pensou-se nessa abordagem visando uma maior generalização do modelo para dados ainda não vistos evitando a super adequação dos dados. Somou-se ao aprendizado teórico dessa etapa o aprendizado e revisão dos conceitos chave de lógica digital e processo de elaboração de sistemas digitais, usando como linguagem de descrição de hardware o Verilog implementado no kit da Altera. Simulou-se também o desempenho da rede variando a quantidade de neurônios na camada oculta (*Hidden Layer*), as quais se encontram entre os neurônios de entrada e os de saída, bem como a quantidade de neurônios em cada camada, mantendo uma estrutura de 28 neurônios de entrada, caracterizando as propriedades ou features a serem estudadas das partículas detectadas como momento, energia e etc, e apenas um neurônio de saída, com um limiar de 0.5 indicando a presença ou não de um múon.

Em seguida, estudou-se a possibilidade da implementação da arquitetura de rede desenvolvida no primeiro momento em uma abordagem de CNN, utilizando bibliotecas como Keras e TensorFlow em Python. Com isso, esperava-se encontrar uma maior desenvoltura frente à grande segmentação dos dados entregues pelo TileCal. Assim, foi estudado técnicas de tratamento de dados, como normalização e tratamento de ruídos e dados discrepantes (*outliers*), a fim de elevar o nível de acurácia e generalização do modelo da rede. Aplicou-se evidentemente a técnica K-Fold previamente discutida e avaliou-se o desempenho da CNN comparado à MLP inicialmente desenvolvida. Para isso empregou-se métodos como a raiz do erro quadrático médio (RMSE), resolução energética, eficiência de reconstrução de eventos e robustez frente a diferentes intensidades de empilhamento. Vale também ressaltar que o treinamento foi realizado de forma supervisionada, com as labels presentes tanto para os dados provenientes do experimento ATLAS quanto para os dados vindos de simulações como o Monte Carlo. Por fim, visa-se implementar as redes desenvolvidas em software na placa FPGA, por meio da ferramenta hls4ml anteriormente citada.

Resultados e Discussões

Nesta seção abordam-se os resultados experimentais obtidos a partir do treinamento, avaliação e aplicação dos modelos de RNAs desenvolvidas em Python por intermédio das bibliotecas supracitadas, além de analisar criticamente o desempenho dessas redes em confronto com a literatura referenciada no plano de trabalho. Vale ainda ressaltar que idealiza-se neste projeto uma otimização de latência das redes implementadas em lógica digital mantendo um desempenho razoável em comparação com as redes implementadas em software. Assim, torna-se possível a futura aplicação dos resultados aqui obtidos em ambientes experimentais complexos como o ATLAS com o uso de hardware reconfigurável (FPGA) no contexto do Calorímetro Hadrônico de Telhas, ou TileCal.

Em primeira análise, em relação ao estudo do uso das MLPs implementadas em Python, iniciou-se realizando a exploração dos dados, utilizando os eventos provenientes do experimento ATLAS. Esses sinais dividiam-se claramente entre sinais ruidosos e sinais de eventos favoráveis, ou seja, o dataset utilizado possuía duas classes, adotando-se o valor booleano *True* (1) para evento favorável e *False* (0) para o ruído. Observa-se, ao analisar a estrutura dos *datasets*, que os frames de sinal e ruído se mostram como um tensor de 5 dimensões, incluindo dimensões dos 64 módulos do calorímetro, 4 canais por módulo, 7 propriedades a serem medidas, 2 representando os dois lados do detector, e por fim, 50385 sinais detectados. Com isso, acessa-se apenas o primeiro módulo do TileCal para alimentar a rede de perceptrons.

Iniciando-se a exploração do *dataset*, observamos um desvio padrão dos sinais de ruído cerca de 3.3 vezes menor do que o desvio padrão dos eventos favoráveis, além de máximos bem distintos também, onde o ruído chega a valores máximos de apenas 144, enquanto o sinal chega a valores de até 255. Assim, foi possível plotar usando a biblioteca seaborn [10] o PDF (*Probability Density Function*), ou função de densidade de probabilidade. É possível observá-la na Figura 1.

Analisando os dados, verificou-se que o conjunto de sinais e de ruído já possui uma considerável diferença estatística, sugerindo uma possível facilidade para arquiteturas de redes mais simplórias, como as MLPs, de separar essas amostras de maneira excessivamente ajustada. Essa hipótese é confirmada após treinarmos a rede variando o número de neurônios da *hidden layer*.

Na figura 2, apresentam-se as curvas ROC da rede feita em MLP (*Receiver Operating Characteristic*), muito usada para avaliar o desempenho de modelos de aprendizagem para atividades de classificação binária, estas obtidas para diferentes configurações de rede, mais precisamente variando os neurônios da camada intermediária de 5 em 5, ou seja, 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 neurônios. Verifica-se que a partir de 1 perceptron, aumentar ou diminuir complexidade dessa camada torna-se ineficaz, já que independentemente da arquitetura escolhida resultou em uma área sob a curva (AUC) superior a 0.95, em todos os cenários. A pequena variação observada está associada ao *trade-off* entre capacidade de representação e risco de overfitting: arquiteturas muito simples (poucos neurônios) possuem menor poder discriminativo, enquanto arquiteturas mais complexas (muitos neurônios) demandam mais tempo de treinamento e podem tender a ajustar-se excessivamente ao conjunto.

Vale ainda ressaltar que, de acordo com o PDF, verificando a distribuição dos dados entre as diferentes colunas do *dataset*, observa-se uma sobreposição significativa entre os sinais e o ruído, tornando algumas colunas pouco discriminativas e irrelevantes. Essa observação é útil para uma futura seleção de atributos, assim aplicando técnicas de redução de dimensionalidade e consequentemente elevando a performance da rede em hardware reconfigurável.

Em contrapartida, a acurácia elevada da rede MLP não representa a solução total da problemática percorrida neste corpo de texto. É improvável que a RNA com tal arquitetura consiga generalizar e explorar todas as relações espaço-temporais entre os dados, ou seja, características intrínsecas dos dados usados para treinar o modelo podem estar enviesados, ou podem ser pouco representativos. Para isso, treinou-se um modelo de CNN com os dados descritos acima, em busca de encontrar padrões nos dados altamente segmentados vindos dos módulos do TileCal. Assim, usando KFold, treinou-se o modelo de CNN com 32 filtros de entrada, 64 neurônios na *hidden layer* e 2 neurônios de saída para classificação binária.

Em relação a performance da CNN, observou-se uma acurácia de aproximadamente 97% com 10 épocas de treinamento, e uma curva ROC para a configuração descrita acima com uma área sob a curva de 0.9914. As curvas ROC referentes a CNN podem ser observadas na figura 3.

Conclusão

Em suma, a partir deste trabalho, foi possível avaliar diferentes propostas de arquiteturas de RNA para discriminar os sinais e ruídos vindos do TileCal, considerando exclusivamente em um primeiro momento o desempenho em software. A MLP mostrou

que até modelos simples alcançam uma elevada acurácia, já que apresentou um desempenho parcialmente constante para variações na quantidade de neurônios da *hidden layer*. Enquanto isso, a CNN, embora mais complexa, apresentou uma análise e classificação mais real dos dados, com uma acurácia menor, comparada à MLP, trazendo vantagens na captura de padrões além de uma maior robustez contra a sobreposição de atributos, compensando o custo computacional.

Assim, a MLP pode ser vista como uma solução mais prática, podendo ser efetiva para dados menos segmentados, com uma possível implementação mista com a CNN, se destacando por ser uma solução prática e menos custosa, favorecendo a baixa latência do processamento de sinais. Por outro lado, a CNN se torna uma proposta mais promissora em cenários futuros, com uma maior dimensionalidade dos dados, levando em consideração por exemplo todos os 64 módulos do calorímetro de telhas.

Como continuação do trabalho, tem-se a síntese dessas redes desenvolvidas em software utilizando a ferramenta de hls4ml, escolhendo um ponto de operação da RNA. Além disso, devido à alta acurácia da rede, seria de extrema importância buscar datasets mais complexos, ou seja, com uma maior zona de confusão entre os sinais ruidosos e favoráveis para testar o desempenho da CNN em cenários com uma maior realidade experimental. Por fim, é importante realizar a implementação da rede sintetizada na placa FPGA supracitada.

Referências

- [1] CERN. ATLAS. Disponível em: <<https://atlas.cern/>>
- [2] CERN. The Large Hadron Collider. Disponível em: <<https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider>>.
- [3] AAD, G. et al. Artificial Neural Networks on FPGAs for Real-Time Energy Reconstruction of the ATLAS LAr Calorimeters. *Computing and Software for Big Science*, v. 5, n. 1, 2 out. 2021.
- [4] LHC long term schedule. Disponível em: <<https://lhc-commissioning.web.cern.ch/schedule/LHC-long-term.htm>>
- [5] <https://atlas.cern/Discover/Detector/Calorimeter>
- [6] JOÃO RANHEL. *Eletrônica Digital, Verilog E Fpga*. [s.l.] Clube de Autores, 2021.
- [7] FASTMACHINELEARNING. GitHub - fastmachinelearning/hls4ml-tutorial: Tutorial notebooks for hls4ml. Disponível em: <<https://github.com/fastmachinelearning/hls4ml-tutorial>>. Acesso em: 31 ago. 2025.
- [8] GÉRONA. *Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow : concepts, tools, and techniques to build intelligent systems*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2017.
- [9] HARRISON, R. L. Introduction To Monte Carlo Simulation. *AIP conference proceedings*, v. 1204, n. 1, p. 17–21, 5 jan. 2010.
- [10] HAFEEZ, A.; SIAL, A. H. Comparative Analysis of Data Visualization Libraries Matplotlib and Seaborn in Python. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, v. 10, n. 1, p. 277–281, 15 fev. 2021.

Anexos



Figura 1 - PDF dos dados



Figura 2 - Curvas ROC MLP



Figura 3 - Curvas ROC CNN

CÓDIGO: ET1408

AUTOR: MAIRA CECILIA RODRIGUES DE OLIVEIRA

COAUTOR: ILA GABRIELE DINIZ DIAS DE AZEVEDO

ORIENTADOR: ANDRE LUIS LOPES MORIYAMA

TÍTULO: Avaliação do efeito de agentes sacrificais na evolução fotocatalítica de hidrogênio utilizando niobato de sódio

Resumo

O agravamento da degradação ambiental, aliado à intensificação dos impactos resultantes da exploração indiscriminada dos recursos naturais, tem fomentado pesquisas direcionadas ao desenvolvimento de alternativas mais limpas e eficientes. A produção fotocatalítica de hidrogênio é considerada uma fonte de energia sustentável. Para investigar o mecanismo de geração de H_2 , utilizam-se com frequência agentes de sacrifício para auxiliar os semicondutores, eliminando as lacunas formadas fotoquimicamente na banda de valência e, assim, dificultando a recombinação dos pares elétron-lacuna, favorecendo a separação eficiente de cargas. Este trabalho explora a evolução fotocatalítica de hidrogênio utilizando como agente de sacrifício o etanol e como fotocatalisador o niobato de sódio. Duas proporções (1:1:1,5 e 1:1:3) entre íons metálicos: EDTA: ácido cítrico foram utilizadas na síntese. E duas concentrações de etanol (2% e 20%) foram estudadas para ambas as amostras. Os experimentos mostraram que a concentração de etanol impacta diretamente na evolução fotocatalítica de hidrogênio, porém sua atividade não aumenta proporcionalmente ao aumento da concentração. A utilização de 2% de etanol se mostrou mais eficiente para ambas as amostras, gerando um aumento de 20 a 25% na geração de hidrogênio.

Palavras-chave: evolução fotocatalítica de hidrogênio; niobato de sódio; etanol

TITLE: Evaluation of the effect of sacrificial agents on photocatalytic hydrogen evolution using sodium niobate

Abstract

The worsening of environmental degradation, combined with the intensification of impacts resulting from the indiscriminate exploitation of natural resources, has driven research aimed at developing cleaner and more efficient alternatives. Photocatalytic hydrogen production is considered a sustainable energy source. To investigate the mechanism of H_2 generation, sacrificial agents are often employed to assist semiconductors by eliminating the photochemically formed holes in the valence band, thereby hindering electron–hole recombination and favoring efficient charge separation. This study explores the photocatalytic hydrogen evolution process using ethanol as a sacrificial agent and sodium niobate as the photocatalyst. Two ratios (1:1:1.5 and 1:1:3) between metal ions, EDTA, and citric acid were used in the synthesis, and two ethanol concentrations (2% and 20%) were tested for both samples. The experiments demonstrated that ethanol concentration directly influences photocatalytic hydrogen evolution; however, the activity does not increase proportionally with the concentration. The use of 2% ethanol proved to be more efficient for both samples, resulting in a 20–25% increase in hydrogen production.

Keywords: photocatalytic hydrogen evolution; sodium niobate; ethanol

Introdução

Ao longo da trajetória da humanidade, a utilização de energia tornou-se progressivamente mais frequente e indispensável para o cotidiano. O avanço das tecnologias, o surgimento de novas demandas e o crescimento contínuo da população mundial intensificaram essa dependência. Nesse contexto, um dos maiores desafios da atualidade consiste na incerteza quanto à disponibilidade futura de energia frente ao aumento da demanda, sobretudo em razão do uso predominante de fontes não renováveis e da exploração em larga escala dos recursos naturais do planeta.

Diante das demandas ambientais atuais, a busca por métodos de produção sustentáveis tem se consolidado como um dos principais motores de transformação no campo científico e tecnológico. O avanço da degradação ambiental e a intensificação dos impactos decorrentes da exploração indiscriminada dos recursos naturais têm impulsionado a realização de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de alternativas mais limpas e eficientes.

Nesse sentido, o esforço da comunidade científica em aprimorar os processos produtivos e os métodos de tratamento de materiais, de modo a reduzir a geração de resíduos, minimizar a emissão de poluentes e otimizar o aproveitamento dos insumos disponíveis. Em meio a esses avanços científicos está a fotocatalise. (Blanco et al., 2009). O processo de fotocatalise da água difere da eletrólise tradicional porque não depende do fornecimento de grandes quantidades de energia elétrica. Em vez disso, ele ocorre quando materiais semicondutores absorvem luz em comprimentos de onda compatíveis com sua banda de absorção característica. Quando esses semicondutores recebem fótons com energia suficiente, seus elétrons são excitados da banda de valência para a banda de condução. Esse movimento gera pares elétron-lacuna capazes de criar um potencial elétrico interno, o qual impulsiona as reações químicas necessárias para a divisão da molécula de água (H_2O), liberando hidrogênio (H_2) (Ni; Leung; Leung; Sumathy, 2007)

A fotocatalise heterogênea tem como objetivo utilizar um catalisador semicondutor em fase sólida, responsável por fornecer a energia necessária para o movimento de elétrons e, assim, possibilitar a degradação por meio da geração de H_2 (Abas; Kalair; Khan, 2015). Progressos substanciais têm sido obtidos na fotodissociação da água mediada por energia solar, empregando fotocatalisadores semicondutores baseados em nióbio.

O Niobato de Sódio ($NaNbO_3$) faz parte de um grande grupo de semicondutores que mostram excelentes resultados na atividade fotocatalítica por possuir uma estrutura cristalina estável e versátil, permitindo eficiência na separação de cargas fotoinduzidas e contribuindo para a redução na taxa de recombinação de elétrons-buraco. De forma adicional às propriedades estruturais, o niobato de sódio também é um material que possui impacto ambiental reduzido e custo acessível (Nawaz; Almofty; Qureshi, 2018).

O etanol atua na produção fotocatalítica do hidrogênio como eliminador de lacunas, além de passar por um processo de oxidação relativamente rápido e irreversível, contribuindo para um maior rendimento quântico e aumentando a taxa de produção de hidrogênio (Patsoura; Kondaries; Verykios, 2007).

Os objetivos deste presente trabalho constitui-se em sintetizar o niobato de sódio em duas proporções diferentes. Realizar a caracterização dos materiais obtidos por difração de raios x (DRX), e analisar sua morfologia a partir das imagens fornecidas pela Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), além de avaliar potencial fotocatalítico do niobato de sódio utilizando etanol como agente de sacrifício.

Metodologia

- síntese do precursor de nióbio

O pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) é insolúvel em água, dessa forma, para garantir a homogeneidade da solução e a formação do precursor complexado EDTA/citrato/íons metálicos foi necessário utilizar uma fonte de nióbio solúvel em água.

O precursor tris(oxalato)oxiniobato de amônio foi produzido através de uma metodologia desenvolvida por Medeiros (2002) e adaptado por Souto (2017), expressa na figura 1. Nb_2O_5 e $KHSO_4$, foram misturados na proporção 1:7, respectivamente, e posteriormente fundidos em cadinho de platina, com auxílio de um bico de Bussen, até a obtenção de um líquido homogêneo de coloração rubra. O produto foi transferido para um cadinho de porcelana, onde resfriou e cristalizou. Os cristais obtidos foram triturados utilizando almofariz e pistilo, até a diminuição da granulometria das partículas e formação de um pó.

O pó foi dissolvido em água destilada à $80^\circ C$, com agitação constante durante 40 minutos. Em seguida, a solução permaneceu por repouso por aproximadamente 15 horas, a fim de aglomerar as partículas e obter-se o pentóxido de nióbio hidratado ($Nb_2O_5 \cdot nH_2O$). O produto obtido foi lavado em filtro à vácuo, com água destilada quente, para eliminação

de íons de potássio e sulfato, até o pH da água de lavagem se igualar ao pH da água destilada pura.

Uma solução equimolar de ácido oxálico e oxalato de amônia foi preparada à 65°C, em seguida, o $\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, foi adicionada à mistura numa razão molar de 1:3 entre o nióbio e os íons oxalatos. A solução complexante foi evaporada completamente, obtendo-se o precursor tris(oxalato)oxiniobato de amônio ($(\text{NH}_4)_3\text{NbO}(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Figura 1: fluxograma da síntese do precursor tri(oxalato) oxiniobato de amônio hidratado.

- Síntese do niobato de sódio

Niobato de sódio foi produzido pelo método de complexação combinada EDTA/citrato, utilizando como precursores tris(oxalato)oxiniobato de amônio e nitrato de sódio, segundo a metodologia desenvolvida por Dos Santos et al (2014). Para investigar o impacto da variação da quantidade de ácido cítrico no produto desejado, duas proporções diferentes entre íons metálicos:EDTA: ácido cítrico foram utilizadas, sendo 1:1:1,5 e 1:1:3 (Dos Santos et al, 2014).

O ácido cítrico foi dissolvido em água e adicionado à solução II, o pH foi verificado, e seu valor mínimo aceitável é 9, nos casos em que não foi atingido, a solução foi corrigida com hidróxido de amônio. A temperatura foi aumentada até 80°C, e a solução foi mantida sob agitação constante até redução volumétrica, e consequentemente a formação do gel. Ao atingir o aspecto de gel.

Após a formação do gel complexo, o material foi pré tratado termicamente a 230°C e calcinado a 900°C. Para confirmar a formação da fase desejada, as amostras foram analisadas através de difratogramas de raios-X no difratômetro da marca bruker modelo D2Phaser equipado com o detector Lynxeye, utilizando radiação de cobre com filtro de níquel corrente de 10 mA e voltagem de 30 kV.

A figura 2 exibe o processo de síntese do niobato de sódio.

Figura 2: fluxograma da síntese de niobato de sódio (NaNbO_3) pelo método EDTA-Citrato.

Para observar a morfologia dos produtos das sínteses, foram obtidas imagens por meio de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

- Evolução fotocatalítica de hidrogênio

Os pós de niobato de sódio foram testados quanto a sua atividade fotocatalítica em reações de evolução de hidrogênio. Os testes foram realizados em reator fotocatalítico de baixo custo, hermeticamente fechado, com carga de catalisador de 0,45 (g/L), temperatura ambiente, agitação constante e utilizando uma lâmpada OSRAM ULTRA-VITALUX 300 W, cujo filamento de tungstênio gera uma radiação semelhante ao espectro solar. Os gases produzidos foram capturados em armadilha de água volumétrica. A fim de evitar a recombinação par elétron-buraco, etanol foi adicionado como agente de sacrifício e sua

concentração variada, em percentual volumétrico, para estudo da influência, sendo 0%, 2% e 20%.

Resultados e Discussões

- Análise da síntese do niobato de sódio e da caracterização do material por Difração de Raios X

A figura 3 mostra os resultados dos difratogramas de raios-X das amostras de niobato de sódio. O material produzido a partir da proporção 1 (1:1:1,5), é denominado NN1-900 e o material de proporção 2 (1:1:3) tem-se NN2-900. Para ambas as amostras, observa-se a presença dos principais picos característicos indexados à carta COD 9014103 de estrutura cristalina ortorrômbica, grupo espacial P21ma, número 26, caracterizando a estrutura de niobato de sódio. Não foi identificada a presença de picos característicos de outra fase cristalina.

Figura 3. Difratogramas de Raios-X das amostras de NaNbO_3 , calcinadas as 900 °C.

A amostra sintetizada com menor percentual de ácido cítrico apresentou picos com maiores intensidades, e consequente maior cristalinidade da amostra. Indicando que a relação entre a quantidade de ácido cítrico adicionada é inversamente proporcional à cristalinidade da fase obtida. Dessa forma, a proporção 1 se mostrou mais eficiente, em termos estruturais, ambientais e econômicos, para a produção do niobato de sódio.

- Avaliação morfológica por meio da MEV

As morfologias dos pós de niobato de sódio nas proporções denominadas NN1 e NN2 são apresentadas nas figuras 4 e 5, respectivamente.

Figura 4. Imagem por MEV de NN1

Figura 5. Imagem por MEV de NN2

De acordo com as imagens por MEV apresentadas nas Figuras 4 e 5, é possível afirmar que, as partículas estão relativamente aglomeradas, a partir de partículas com tamanhos diferentes.

Uma característica observada através das imagens foi a ausência de uniformidade no tamanho das partículas, característica influenciada por diversos fatores como, por exemplo, tempo de reação, temperatura, concentração de reagentes, pH da reação, bem como o tratamento térmico (Zielińska, Borowiak-Palen, Kaleńczuk, 2011). A falta de uniformidade no tamanho das partículas do material sintetizado sustenta os resultados do DRX, uma vez que variações dimensionais tendem a produzir valores mais amplos. De modo geral, os resultados obtidos mostraram-se consistentes com aqueles relatados em outros estudos (Chen, Li, Zhang, 2014).

- Teste de fotocatalise heterogênea

A influência da concentração de etanol no desempenho fotocatalítico dos pós de niobato de sódio, sintetizados com as diferentes proporções, foi investigada para evolução de hidrogênio, como mostrado na figura 6 e 7. Em ambos os gráficos são mostradas uma substância pura (S.A. + H₂O), apenas água com adição de etanol (S.A. + et 2%; S.A. + 20%) e a utilização das amostras com as diferentes concentrações de etanol.

Figura 6. Evolução fotocatalítica de hidrogênio utilizando a amostra produzida com a proporção 1 (NN1-900).

Figura 7. Evolução fotocatalítica de hidrogênio utilizando a amostra produzida com a proporção 2 (NN2-900).

A produção de hidrogênio cresce rapidamente entre os 30 minutos iniciais, devido a máxima concentração do agente sacrificial que favorece a velocidade da reação. A partir dos 60 minutos, é possível observar o início de uma etapa que tende à estabilização da reação. Após essa etapa intermediária, aos 120 minutos, ocorre a estabilização da reação, associada a diminuição da concentração de reagentes disponíveis na superfície do catalisador.

Para NN1-900, a adição do catalisador no sistema reacional, apenas com água, retardou a produção de gás, em 10%. Para a amostra de 2% de etanol aumentou em aproximadamente 20% a produção de H₂. E para a amostra de 20% de etanol, aumentou aproximadamente 10%.

Para NN2-900, a adição do catalisador no sistema reacional, apenas com água, retardou a produção de gás, em 15%. Para a amostra de 2% de etanol aumentou em aproximadamente 25% a produção de H₂. e Para a amostra de 20% de etanol, aumentou em apenas 2%.

As diferentes proporções de síntese não apresentaram diferença significativa na evolução de hidrogênio.

Conclusão

Diante do exposto, o niobato de sódio foi formado como esperado para a proporção 1 e 2, de acordo com as caracterizações realizadas por DRX, onde foi constatada a presença das fases e picos característicos desse material. A partir do ponto de vista estrutural quanto ambiental e econômico, concluiu-se que a proporção 1 é mais eficiente para a realização da síntese do niobato de sódio.

Fotocataliticamente, a concentração de etanol, atuando como agente de sacrifício, mostrou-se um fator relevante para a evolução de hidrogênio a partir da fotocatalise utilizando niobato de sódio. Entretanto, os dois materiais avaliados, NN1-900 e NN2-900, revelam que a proporção entre quantidade de etanol utilizada e evolução da reação não é linear. De forma que a melhor evolução no processo fotocatalítico ocorreu com a utilização da concentração de 2% de etanol, para ambas as amostras.

Referências

ABAS, N.; KALAIR, A.; KHAN, N. Review of fossil fuels and future energy technologies. **Futures**, v. 69, p. 31–49, 2015.

BLANCO, J.; et al. Review of feasible solar energy applications to water processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 6–7, p. 1437–1445, 2009.

B. Zielińska, E. Borowiak-Palen, and R. J. Kalenczuk, “Preparation, characterization and photocatalytic activity of metal-loaded NaNbO_3 ,” **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, vol. 72, no. 2, pp. 117–123, Feb. 2011, doi: 10.1016/J.JPCS.2010.11.007.

Dos Santos, A. G. et al. **Catalysts**, 2014, 4, n. 2, 77-88.

Medeiros, F. DE F. P. DE. Síntese de carbetos de tungstênio e nióbio a baixa temperatura, através de reação gás-sólido em reator de leito fixo. **doctoralThesis—[s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, 3 maio 2002.

Nawaz, M.; Almoftly S. A.; Qureshi, F. **Plos One**, 2018, 13, n 9, 0204061.

N. Chen, G. Li, and W. Zhang, “Effect of synthesis atmosphere on photocatalytic hydrogen production of NaNbO_3 ,” **Physica B Condens Matter**, vol. 447, pp. 12–14, 2014.

Ni, M.; Leung, M. K. H.; Leung, D. Y. C. e Sumathy, K.; A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using for hydrogen production, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 3, p. 401-425, 2007.

Patsoura, A.; Kondarides, D. I.; Verykios, X. E. **Catalysis Today**, 2007, 94-102.

Souto, M. V. M. Estudo de métodos de dopagem para obtenção e caracterização de óxido e carbetos de nióbio com cobre e sua aplicação em compósitos sinterizados (Cu-NbC). **doctoralThesis—[s.l.] Brasil**, 22 dez. 2017.

Anexos



Figura 1: fluxograma da síntese do precursor tri(oxalato) oxiniobato de amônio hidratado.



Figura 2: fluxograma da síntese de niobato de sódio (NaNbO_3) pelo método EDTA-Citrato.



Figura 3. Difratomogramas de Raios-X das amostras de NaNbO_3 , calcinadas as 900 °C.



Figura 4. Imagem por MEV de NN1



Figura 5. Imagem por MEV de NN2



Figura 6. Evolução fotocatalítica de hidrogênio utilizando a amostra produzida com a proporção 1 (NN1-900).



Figura 7. Evolução fotocatalítica de hidrogênio utilizando a amostra produzida com a proporção 2 (NN2-900).

CÓDIGO: ET1440

AUTOR: YASMIN MARIA SANTANA DE MELO

ORIENTADOR: ERNANO ARRAIS JUNIOR

TÍTULO: Análise de ferramentas de pré-processamento digital de sinais musculares e classificação inteligente de parâmetros biomédicos

Resumo

O estudo sobre fadiga muscular tem como objetivo investigar formas mais sensíveis de detectar a diminuição do desempenho muscular durante atividades intensas. Para isso, são aplicados métodos estocásticos e de análise de sinais, como a Transformada de Fourier, a Transformada Wavelet e a Transformada de Hilbert, que permitem decompor e examinar sinais de eletromiografia (EMG) em diferentes domínios. Essas técnicas possibilitam identificar alterações sutis na frequência e amplitude do sinal, relacionadas à fadiga, que podem não ser captadas por análises tradicionais. O enfoque do estudo está em comparar a eficácia desses métodos na detecção precoce da fadiga, buscando maior precisão e sensibilidade. Ao combinar diferentes abordagens matemáticas e estatísticas, o trabalho pretende fornecer ferramentas mais confiáveis para análise de fadiga, com potencial aplicação em reabilitação.

Palavras-chave: Fadiga muscular, EMG, Wavelet, Fourier, Hilbert

TITLE: Analysis of digital preprocessing tools for muscle signals and intelligent classification of biomedical parameters

Abstract

The study of muscle fatigue seeks sensitive methods to detect decreased performance. To this end, signal analyses such as Fourier, Wavelet, and Hilbert transforms have been used to examine electromyography (EMG) signals, which can reveal subtle changes in amplitude and frequency related to fatigue. Fatigue is defined as the progressive reduction in muscle force generation capacity, a continuous phenomenon that alters the EMG signal, shifting its spectrum to lower frequencies and increasing its RMS value. The Fourier transform, while effective, has the limitation of losing temporal information, which makes it unsuitable for non-stationary signals such as EMG. On the other hand, the Wavelet transform allows the signal to be decomposed into different frequency bands while maintaining temporal and spectral information. The Hilbert transform, by enabling the construction of the analytical signal, allows the extraction of instantaneous amplitude and phase information, useful for identifying the temporal

variation of oscillatory components.

The Hilbert transform has proven to be more effective in detecting muscle fatigue. Its envelope analysis reveals a loss of energy in the signal, while the FFT confirms this reduction in magnitude. However, the Hilbert transform stands out for visualizing the evolution of energy over time, being a more sensitive and direct indicator.

Keywords: muscle fatigue, EMG, Wavelet, Fourier transform, Hilbert transform

Introdução

A atividade muscular intensa provoca uma diminuição no desempenho, fenômeno denominado fadiga muscular (FM)(LORIST,2002). Ele pode ser definido sendo a redução progressiva da capacidade máxima de geração de força pelo músculo, derivados do contínuo esforço e diminuição da eficiência das unidades motoras ativas (SOO,2009). Esse processo se manifesta no sinal eletromiográfico de superfície (sEMG) por alterações de amplitude e frequência, como o deslocamento do espectro de potência para frequências mais baixas e aumento do valor RMS, sendo um fenômeno contínuo que pode ocorrer em diferentes intensidades, desde níveis baixos até exaustão(ZHANG, 2018).

Os coeficientes de Fourier representam a correlação entre a função analisada e componentes senoidais complexas, que permite descrever a contribuição de cada frequência no sinal. O resultado dessa análise é o espectro de Fourier, no qual os valores absolutos dos coeficientes são associados às suas frequências. Embora essa técnica seja eficaz para identificar o conteúdo espectral, ela apresenta limitações como por exemplo ao transformar o sinal para o domínio da frequência, se perde a informação temporal. Esse aspecto não compromete sinais estacionários, que apresentam pouca variação ao longo do tempo. No entanto, muitas aplicações científicas e de engenharia envolvem sinais não lineares e não estacionários, cuja análise adequada exige métodos capazes de integrar simultaneamente as dimensões de tempo e frequência(RAMÍREZ-CASTRO,2011).

A Transformada Wavelet tem se destacado como uma técnica eficaz na análise de sinais biomédicos, incluindo a eletromiografia (EMG). Diferente de métodos convencionais, ela possibilita a decomposição do sinal em diferentes faixas de frequência, mantendo simultaneamente informações temporais e espectrais. Esse processo gera coeficientes de aproximação, responsáveis por representar as componentes de baixa frequência e a forma geral do sinal, e coeficientes de detalhe, que evidenciam as variações de alta frequência, associadas a mudanças rápidas no sinal(Fonseca Araujo,2025).

A Transformada de Hilbert é utilizada para realçar as propriedades locais de um sinal, no qual permite a construção do sinal analítico, composta pela parte real (sinal original) e parte imaginária (transformada). A partir dela, se pode extrair informações de amplitude e fase instantâneas, que possibilitam calcular a frequência instantânea do

senal. Esse recurso é útil para identificar a variação temporal de componentes oscilatórias, no qual a Transformada de Fourier não consegue mostrar. No entanto, a técnica apresenta limitações, já que fornece resultados adequados apenas para sinais monocomponentes, ou seja, que apresentam uma única frequência em cada instante. Quando existem múltiplas frequências simultâneas, a análise pode gerar valores médios pouco representativos. Para superar essa restrição, são necessários métodos complementares de decomposição do sinal que irá permitir aplicar a Transformada de Hilbert a componentes separados e assim obter resultados mais confiáveis (RAMÍREZ-CASTRO, 2011).

Dessa forma, a aplicação de métodos de processamento de sinais, como a Transformada Wavelet e a Transformada de Hilbert, se mostra essencial para uma análise mais robusta da fadiga muscular. Ao integrar informações temporais e espectrais, essas ferramentas permitem, de forma mais detalhada, compreender a mudança no comportamento do sinal eletromiográfico, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de avaliação mais precisas e eficazes no monitoramento da atividade muscular.

Metodologia

O presente estudo utiliza sinais de EMG provenientes de um dataset previamente adquirido.

Foram utilizados exclusivamente os dados referentes ao movimento de flexão do cotovelo, extraídos do dataset “A Dataset of sEMG and Self-Perceived Fatigue Levels for Muscle Fatigue Analysis”. Esse movimento foi selecionado porque, nesta etapa inicial do estudo, o objetivo é analisar apenas ações que envolvem predominantemente a ativação do músculo bíceps braquial (Fonseca Araujo, 2025).

Inicialmente, os sinais são extraídos e submetidos a filtros passa-banda, com o objetivo de isolar diferentes faixas de frequência relevantes para a análise. Esses filtros permitem segmentar os dados em intervalos distintos (por exemplo, de 0–150 Hz até 450–600 Hz), de forma a preservar apenas as componentes de interesse e reduzir possíveis interferências.

Após a etapa de filtragem, o sinal é particionado em dois grupos: sinais associados à condição de fadiga e sinais sem fadiga. Essa separação possibilita a comparação direta entre os dois estados fisiológicos. Em seguida, parte dos sinais é processada pela Transformada de Hilbert, permitindo a extração do envoltório e de informações de amplitude instantânea, que podem evidenciar diferenças entre os grupos.

Paralelamente, os sinais segmentados passam por uma análise de densidade de probabilidade por meio do método Kernel Density Estimation (KDE). Essa etapa tem a função de verificar a distribuição estatística dos dados. Caso a distribuição se aproxime da normalidade (gaussiana), aplica-se o coeficiente de correlação de Pearson para

quantificar a relação entre as variáveis. Caso contrário, outras medidas de correlação são utilizadas para garantir uma análise estatisticamente adequada.

Por fim, os resultados de Pearson e das demais correlações são integrados, compondo a análise final de correlação. Essa etapa busca identificar padrões que diferenciam os estados de fadiga e não fadiga, oferecendo subsídios para a compreensão dos efeitos da fadiga sobre os sinais de EMG.

Resultados e Discussões

A análise dos sinais musculares com o objetivo de identificar o comportamento da fadiga foi realizada utilizando três abordagens principais: a transformada de Hilbert, a transformada de Fourier e a análise de correlação de Pearson da transformada Wavelet. Os resultados obtidos em cada etapa contribuíram para a compreensão do fenômeno e para a identificação da melhor ferramenta para sua detecção.

1.1 Análise da Transformada de Hilbert e seu Envelope

A comparação dos envelopes da transformada de Hilbert para os sinais fatigados e não fatigados revelou um comportamento claro e consistente. Observou-se que a amplitude do envelope nos sinais fatigados é significativamente menor do que nos sinais não fatigados, em todas as faixas de frequência analisadas.

Sinais Não Fatigados: Apresentaram maior energia, com amplitudes de envelope que atingiram picos de 2×10^{-5} na faixa de 1-150 Hz.

Sinais Fatigados: Demonstraram uma redução considerável da energia, com picos de amplitude em torno de 1×10^{-5} na mesma faixa.

Essa tendência de redução de amplitude em estado de fadiga se manteve nas faixas de frequência mais altas, o que sugere que o processo de fadiga está associado a uma diminuição da capacidade do músculo de gerar energia, um fenômeno que se manifesta de forma generalizada no espectro de frequência do sinal. O envelope da transformada de Hilbert se mostrou uma ferramenta eficaz para visualizar e quantificar essa perda de energia ao longo do tempo.

1.2 Análise da Transformada Rápida de Fourier (FFT)

A análise do comportamento espectral dos sinais foi realizada através da FFT. A comparação dos gráficos de magnitude da FFT para os sinais fatigados e não fatigados nas

faixas de 1-150 Hz e 151-300 Hz permitiu identificar a distribuição da energia em frequência.

Sinais Não Fatigados: A magnitude da FFT (energia do sinal) é mais elevada nas frequências mais baixas, com picos de amplitude em torno de 0.007 na faixa de 1-150 Hz.

Sinais Fatigados: A magnitude da FFT é visivelmente menor (picos de 0.0035 na faixa de 1-150 Hz), o que confirma a redução de energia já observada na análise da transformada de Hilbert.

A análise da FFT reforça a conclusão de que a fadiga causa uma diminuição da energia do sinal. No entanto, o envelope da transformada de Hilbert fornece uma visualização direta das variações de energia no domínio do tempo, o que a FFT não faz de forma tão intuitiva.

1.3 Correlação de Pearson

As tabelas de correlação de Pearson fornecem uma medida quantitativa da relação entre diferentes parâmetros (Energia, MNF, MDF) e a aproximação de coeficientes da wavelet. A análise dessas correlações é fundamental para identificar quais parâmetros estão mais fortemente associados à fadiga.

A correlação de Pearson para a Energia (0,3413) em sinais não particionados e o MNF (-0,3124) e MDF (-0,3494) demonstram uma relação moderada entre esses parâmetros e os sinais. A correlação negativa para MNF e MDF é um indicativo de que a frequência média e mediana diminui com o aumento da fadiga, um resultado que é esperado na literatura.

Os coeficientes de correlação mostram valores menores e mais inconsistentes para sinais particionados e wavelet. Por exemplo, a correlação para a energia cai para 0,2688 na Tabela II, enquanto na Tabela III, os coeficientes de energia variam de 0,2708 a 0,3348. A análise de correlação sugere que o MNF (Frequência Média) e o MDF (Frequência Mediana) são parâmetros úteis, mas sua correlação não é forte o suficiente para serem considerados os únicos indicadores.

Considerando os resultados de todas as análises, a Transformada de Hilbert e seu envelope se destacam como a ferramenta mais eficaz para a análise da fadiga. Diferente da FFT, que fornece uma visão estática da distribuição de energia em frequência, o envelope da transformada de Hilbert permite visualizar a evolução da energia no tempo. Além disso, a sua representação visual da diminuição da amplitude do sinal fatigado é mais direta e intuitiva do que as correlações numéricas. A análise de correlação, apesar de útil para quantificar a relação entre parâmetros, não oferece a mesma capacidade de visualização e detecção direta que o envelope da transformada de Hilbert.

Em conclusão, a Transformada de Hilbert, ao permitir a análise do envelope do sinal, provou ser a ferramenta mais adequada para identificar e quantificar o comportamento de fadiga em sinais musculares, devido à sua capacidade de mostrar a redução da energia do sinal de forma clara e direta no domínio do tempo.

Conclusão

Os resultados obtidos a partir das análises realizadas evidenciam que a fadiga muscular provoca alterações consistentes nos sinais eletromiográficos. A Transformada de Fourier demonstrou-se eficaz na identificação desse fenômeno, revelando a redistribuição espectral caracterizada pela redução da potência nas altas frequências (151–300 Hz) e pelo aumento relativo nas baixas frequências (1–150 Hz). Esse comportamento está diretamente relacionado à diminuição da velocidade de condução das fibras musculares, confirmando os padrões descritos na literatura.

De forma complementar, a Transformada de Hilbert possibilitou observar diferenças expressivas entre sinais fatigados e não fatigados, evidenciadas pela redução da amplitude do envelope e, conseqüentemente, da energia do sinal em condição de fadiga. Esses achados reforçam a utilidade dessa técnica como indicador sensível da perda de capacidade de geração e sustentação da atividade muscular.

Por outro lado, a Transformada Wavelet Discreta (TWD) não apresentou resultados satisfatórios na extração de características relevantes para a análise da fadiga muscular. Tal limitação sugere que a seleção da família wavelet, da ordem utilizada e da faixa de frequência decomposta influencia diretamente a qualidade da análise, indicando a necessidade de ajustes metodológicos.

Assim, conclui-se que a utilização combinada de diferentes métodos de processamento de sinais pode fornecer uma avaliação mais abrangente da fadiga muscular. Como perspectivas futuras, recomenda-se a exploração de transformadas wavelets alternativas (packet e redundante), de famílias distintas além da Daubechies, bem como o emprego de modelos de predição mais robustos, a fim de aprimorar a discriminação de padrões e a precisão da análise.

Referências

SOO, Yewguan et al. Quantitative estimation of muscle fatigue using surface electromyography during static muscle contraction. In: 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS), Minneapolis, USA, 2009. IEEE, p. 2975–2978. DOI: 10.1109/IEMBS.2009.5335232.

ZHANG, Guangyi et al. Non-invasive detection of low-level muscle fatigue using surface EMG with wavelet decomposition. In: 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS), Honolulu, USA, 2018. IEEE, p. 5648–5651. DOI: 10.1109/EMBC.2018.8513149.

LORIST, M. M.; KLEINSORGE, T.; MAAS, M.; ZIJLSTRA, S. Motor fatigue and cognitive task performance in humans. *Journal of Physiology*, v. 93, n. 1-2, p. 125-132, 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11691862/>.

FONSECA ARAÚJO, I. A.; SANTANA DE MELO, Y. M.; ROCHA, J. R. S.; PEREIRA, V. S.; DINIZ DE CAMPOS, A. G.; ARRAIS JUNIOR, E. Pré-processamento de sinais de eletromiografia para extração de características e treinamento de modelos preditivos de fadiga muscular. Natal, Brasil: UFRN/ISD, 2025.

CERQUEIRA, S.; VILAS-BOAS, R.; FIGUEIREDO, J.; SANTOS, C. A Dataset of sEMG and Self-Perceived Fatigue Levels for Muscle Fatigue Analysis (Version v2) [conjunto de dados]. Zenodo, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14182446>.

CERQUEIRA, Sara M. et al. A Comprehensive Dataset of Surface Electromyography and Self-Perceived Fatigue Levels for Muscle Fatigue Analysis. *Sensors*, v. 24, n. 24, p. 8081, 2024.

RAMÍREZ-CASTRO, Ricardo I.; MONTEJO, Luis A. Transformada de Hilbert, descomposición modal empírica y sus aplicaciones en el análisis de vibraciones libres. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, v. 11, n. 2, p. 123-134, 2011.

A. B. M. S. U. Doulah, S. A. Fattah, W. -. Zhu and M. O. Ahmad, "Wavelet Domain Feature Extraction Scheme Based on Dominant Motor Unit Action Potential of EMG Signal for Neuromuscular Disease Classification," in *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 155-164, April 2014.

AKAY, M. *Nonlinear Biomedical Signal Processing: Fuzzy logic, neural networks, and new algorithms*. [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2000.

ARRAIS JÚNIOR, Ernano. Sistema de análise de sinal cardíaco para aplicação em telecardiologia. 2016. 40f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

ASSOCIATION, A. H. AHA Database. ECRI, 5200 Butler Pike, Plymouth Meeting, PA 19462 USA: [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.ecri.org/>>.

B. Pfundt, M. Reichenbach, B. Eskofier and D. Fey, "Smart sensor architectures for embedded biosignal analysis," 2013 Conference on Design and Architectures for Signal and Image Processing, Cagliari, 2013, pp. 174-181.

BENAÏM, C.; DESNUELLE, C.; FOURNIER-MÉHOUAS, M. Echelles fonctionnelles et évaluation des fonctions motrices dans la sclérose latérale amyotrophique. *Revue Neurologique*, v. 162, p. 131-137, 2006.

BONDUELLE, M. et al. Évolution simultanée d'une sclérose latérale amyotrophique, d'un syndrome parkinsonien et d'une démence progressive: A propos de deux observations anatomo-cliniques Essai d'interprétation. *Journal of the Neurological Sciences*, v. 6, n. 2, p. 315-332, 1968.

BRASIL, M. d. S. Manual de Telessaúde para Atenção Básica / Atenção Primária à Saúde. [S.l.], 2012. Acessado em 13 de junho de 2016. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual/_telessaude/_atencao/_basica.pdf>.

BRONZINO, J. D. (Ed.). The Biomedical Engineering HandBook. [S.l.]: CRC Press LLC and IEEE Press, 2000. I.

BRONZINO, J. D. (Ed.). The Biomedical Engineering HandBook. [S.l.]: CRC Press LLC and IEEE Press, 2000. II.

BRUCE, E. N. Biomedical Signal Processing and Signal Modeling. [S.l.]: USA: John Wiley & Sons, 2001.

BRUNETEAU, G.; DEMERET, S.; MEININGER, V. Physiopathologie de la Sclérose Latérale Amyotrophique: approches thérapeutiques. Revue neurologique, v. 160, n. 2, p. 235-241, 2004.

BURRUS, C. S.; GOPINATH, R. A.; GUO, H. Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms: A Primer. 1. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 1997.

CATTANI, C. et al. Biomedical signal processing and modeling complexity of living systems. Computational and Mathematical Methods in Medicine, Hindawi Publishing Corporation, v. 2012, 2012.

CATTANI, C. et al. Biomedical signal processing and modeling complexity of living systems. Computational and Mathematical Methods in Medicine, Hindawi Publishing Corporation, v. 2012, 2012.

Cerutti, S.; MARCHESI, C. Advanced methods of biomedical signal processing. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011. v. 27. Christe, B. Introduction to biomedical instrumentation: The technology of patient care. [S.l.]: Cambridge University Press, 2009.

CHRISTE, B. Introduction to biomedical instrumentation: The technology of patient care. [S.l.]: Cambridge University Press, 2009.

DANEL-BRUNAUD, V. Évaluation du handicap et de la qualité de vie dans la sclérose latérale amyotrophique. Revue Neurologique, v. 162, p. 200-204, 2006.

DANEL-BRUNAUD, V. et al. Surveillance et traitement des troubles respiratoires associés à la sclérose latérale amyotrophique. Revue Neurologique, v. 161, n. 4, p. 480-485, 2005.

DHAR, S. et al. Noise reduction and ecg feature extraction using interpolation and hilbert transform. In: Control, Instrumentation, Energy and Communication (CIEC), 2014 International Conference on. [S.l.: s.n.], 2014. p. 232–236.

DAUBECHIES, I. The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis. Information Theory, IEEE Transactions on, v. 36, n. 5, p. 961–1005, Sep 1990. ISSN 0018-9448.

DAUBECHIES, I. Ten lectures on Wavelets. In: CBMS-NSF Regional Conference Series, Siam. [S.l.: s.n.], 1992.

DEMORY, Didier; DONATI, Stéphane; ARNAL, Jean-Michel. Sclérose latérale amyotrophique. In: Maladies rares en réanimation. Springer, Paris, 2010. p. 167-176.

DESPORT, J. C.; MAILLOT, F. Nutrition et sclérose latérale amyotrophique (SLA). Nutrition clinique et métabolisme, v. 16, n. 2, p. 91-96, 2002.

DUPONT, W. D.; DUPONT, W. D. Statistical modeling for biomedical researchers: a simple introduction to the analysis of complex data. [S.l.]: Cambridge University Press, 2009.

E. Arrais et al., "Strategy control converter to enhance the performance in the grid-connected PMSG wind power generation system," 2015 IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), Fortaleza, 2015, pp. 1-5.

E. Arrais Junior, R. A. de Medeiros Valentim and G. Bezerra Brandao, "Real Time QRS Detection Based on Redundant Discrete Wavelet Transform," in IEEE Latin America Transactions, vol. 14, no. 4, pp. 1662-1668, April 2016.

E. Arrais, V. O. Roda, C. M. S. Neto, R. L. A. Ribeiro and F. B. Costa, "FPGA versus DSP for Wavelet transform based Voltage Sags detection," 2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, Montevideo, 2014, pp. 643-647.

CÓDIGO: ET1447

AUTOR: FERNANDO HENRIQUE DO COUTO

ORIENTADOR: SAMAHERNI MORAIS DIAS

TÍTULO: CyberIA: Sistema embarcado para detecção de falhas em máquinas rotativas

Resumo

Este relatório apresenta os resultados iniciais do projeto CyberIA, que tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema embarcado com técnicas de inteligência artificial para detecção e diagnóstico de falhas em máquinas rotativas. A proposta se insere no contexto da Indústria 4.0 e da manutenção preditiva, buscando superar as limitações dos métodos tradicionais, geralmente invasivos ou dependentes da análise manual de especialistas.

Nesta fase inicial, foi realizada uma revisão bibliográfica, permitindo consolidar o conhecimento existente na área e identificar lacunas relacionadas ao uso de inteligência artificial em sistemas embarcados. Os estudos destacaram a relevância dos sinais de vibração como principal fonte de informação para o monitoramento de máquinas, além do potencial das redes neurais artificiais perceptron de múltiplas camadas para extração automática de padrões e classificação de falhas.

Embora ainda não tenham sido realizados testes em hardware embarcado, os resultados preliminares confirmam a viabilidade da proposta e apontam desafios importantes, como a necessidade de otimização dos modelos de IA para dispositivos com restrições de processamento e a coleta de dados experimentais em condições reais de operação.

Palavras-chave: Manutenção, IA, Embarcados, Máquinas, Redes Neurais

TITLE: CyberAI: Embedded System for Fault Detection in Rotating Machinery

Abstract

This report presents the initial results of the CyberIA project, which aims to develop an embedded system with artificial intelligence techniques for the detection and diagnosis of faults in rotating machinery. The proposal is framed within the context of Industry

4.0 and predictive maintenance, seeking to overcome the limitations of traditional methods, which are often invasive or dependent on manual expert analysis.

In this initial phase, a literature review was carried out, consolidating the existing knowledge in the field and identifying gaps related to the use of artificial intelligence in embedded systems. The studies highlighted the relevance of vibration signals as the main source of information for machine monitoring, as well as the potential of neural networks for automatic feature extraction and fault classification.

Although tests on embedded hardware have not yet been conducted, the preliminary results confirm the feasibility of the proposal and point to important challenges, such as the need for optimization of AI models for devices with processing constraints and the collection of experimental data under real operating conditions.

Keywords: Maintenance, AI, Embedded, Machines, Neural Networks

Introdução

O avanço da Indústria 4.0 tem impulsionado o desenvolvimento de soluções inteligentes voltadas à otimização de processos e à redução de custos operacionais. Entre os elementos centrais da automação industrial, destaca-se a manutenção de máquinas e equipamentos, cuja eficiência impacta diretamente a produtividade e a confiabilidade do sistema produtivo. Nesse contexto, a manutenção preditiva surge como uma estratégia essencial, permitindo antecipar falhas antes que se manifestem de forma crítica, assegurando maior disponibilidade e segurança operacional.

Grande parte dos métodos tradicionais de manutenção preditiva, entretanto, apresenta limitações. Muitos deles são invasivos, exigem longos períodos de inatividade para instalação de sensores ou testes, ou ainda dependem fortemente da análise manual de especialistas. Em um cenário de crescente competitividade, torna-se cada vez mais necessária a adoção de tecnologias inteligentes capazes de monitorar e diagnosticar falhas em tempo real, reduzindo custos e aumentando a autonomia dos sistemas.

As redes neurais têm se consolidado como uma ferramenta poderosa para o diagnóstico de falhas. Aliada ao avanço das plataformas embarcadas, essa abordagem viabiliza a implementação de sistemas ciberfísicos robustos e eficientes.

Diante desse cenário, este trabalho apresenta o projeto CyberIA, cujo objetivo é o desenvolvimento de um sistema embarcado com técnicas de redes neurais aplicadas à detecção e diagnóstico de falhas em máquinas rotativas. Ressalta-se que este relatório foi elaborado por um aluno voluntário do projeto, como parte das atividades de estudo e consolidação dos fundamentos necessários ao seu desenvolvimento.

Metodologia

Foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de consolidar o conhecimento existente sobre manutenção preditiva em máquinas rotativas, bem como identificar lacunas e oportunidades relacionadas à aplicação da inteligência artificial em sistemas embarcados. Para isso, foram analisados trabalhos científicos que forneceram o embasamento teórico necessário à definição da abordagem adotada neste projeto. Entre os materiais estudados, destaca-se o trabalho “Monitoramento de Falhas em Motores de Indução Utilizando Inteligência Artificial Embarcada”, de Sthefania Fernandes Silva, que contribuiu significativamente para a compreensão das técnicas de monitoramento de falhas e para a análise da aplicação prática de algoritmos de IA em hardware com restrições de processamento.

Resultados e Discussões

Os resultados obtidos até o momento refletem a fase inicial de desenvolvimento do projeto CyberIA, contemplando principalmente os estudos teóricos. Embora os experimentos em sistemas embarcados ainda não tenham sido realizados, os avanços alcançados já permitem discutir a viabilidade da proposta e apontar seus principais desafios.

A revisão bibliográfica possibilitou identificar diferentes abordagens consolidadas para o diagnóstico de falhas em máquinas rotativas, com destaque para o uso de sinais de vibração como principal fonte de informação. O estudo do material de Sthefania Fernandes Silva reforçou a importância da aplicação de inteligência artificial embarcada em cenários reais, servindo como referência prática para as próximas etapas do projeto.

Conclusão

O presente relatório apresentou os estudos iniciais do projeto CyberIA, cujo objetivo é o desenvolvimento de um sistema embarcado baseado em inteligência artificial para detecção e diagnóstico de falhas em máquinas rotativas. Até o momento, o trabalho concentrou-se na etapa de revisão bibliográfica, que permitiu consolidar o conhecimento existente na área de manutenção preditiva e identificar lacunas relevantes para a aplicação de técnicas de aprendizado profundo em sistemas embarcados.

Os resultados preliminares confirmam a relevância do uso de sinais de vibração como principal fonte de informação para o diagnóstico de falhas, bem como o potencial das redes neurais artificiais perceptron de múltiplas camadas como ferramenta eficaz para a extração de padrões e a classificação de anomalias. Além disso, a análise teórica destacou desafios a serem enfrentados, como as limitações de hardware em plataformas embarcadas, a necessidade de validação em condições reais de operação e a importância da aquisição de dados representativos.

Dessa forma, conclui-se que o projeto encontra-se em um estágio promissor, com base científica consistente e perspectivas claras para a continuidade. As próximas etapas envolverão a preparação de dados experimentais, o desenvolvimento e ajuste do modelo da rede neural e, por fim, a sua implementação em sistemas embarcados, de modo a viabilizar uma solução de manutenção preditiva inteligente alinhada às demandas da Indústria 4.0.

Referências

- [1] Yu, B., Zhou, J., Hu, S. (2020). Cyber-Physical Systems: An Overview. In: Hu, S., Yu, B. (eds) Big Data Analytics for Cyber-Physical Systems. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43494-6_1
- [2] Q. Zhu, A. Sangiovanni-Vincentelli, S. Hu, X. Li, Design automation for cyber-physical systems. Proc. IEEE 106(9), 1479–1483 (2018)
- [3] D. P. Plakhotnikov and E. E. Kotova, "The Use of Artificial Intelligence in Cyber-Physical Systems," 2020 XXIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, Russia, 2020, pp. 238-241, doi: 10.1109/SCM50615.2020.9198749.
- [4] Wenliang Liu, Noushin Mehdipour, and Calin Belta. 2021. Recurrent neural network controllers for signal temporal logic specifications subject to safety constraints. IEEE Control Systems Letters (2021).
- [5] Scott A Nivison and Pramod P Khargonekar. 2017. Development of a robust deep recurrent neural network controller for flight applications. In ACC. IEEE, 5336--5342.
- [6] Jiayang Song, Deyun Lyu, Zhenya Zhang, Zhijie Wang, Tianyi Zhang, and Lei Ma. 2022. When cyber-physical systems meet AI: a benchmark, an evaluation, and a way forward. In Proceedings of the 44th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 343–352. <https://doi.org/10.1145/3510457.3513049>
- [7] Dey, N., Ashour, A.S., Shi, F. et al. Medical cyber-physical systems: A survey. J Med Syst 42, 74 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0921-x>
- [8] Radanliev, P., De Roure, D., Van Kleek, M. et al. Artificial intelligence in cyber physical systems. AI & Soc 36, 783–796 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00146-020-01049-0>
- [9] S. K. Khaitan and J. D. McCalley, "Design Techniques and Applications of Cyberphysical Systems: A Survey," in IEEE Systems Journal, vol. 9, no. 2, pp. 350-365, June 2015, doi: 10.1109/JSYST.2014.2322503.

[10] Kumar Sagar, A., Nand, P., Kumar, N., Das, S., & Sahana, S. (Eds.). (2023). Artificial Intelligence in Cyber-Physical Systems: Principles and Applications (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003248750>

[11] SILVA, Sthefania Fernandes. Monitoramento de falhas em motores de indução utilizando inteligência artificial embarcada. 2025. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2025.

CÓDIGO: ET1453

AUTOR: DANILO CARLOS DE SOUZA

COAUTOR: SOPHIA MARTINS PEREIRA

COAUTOR: FRANCISCO PAULINO DA SILVA

ORIENTADOR: EDUARDO LINS DE BARROS NETO

TÍTULO: Remoção do Corante Azul de Metileno Utilizando Biochar Produzido a partir de Diferentes Biomassas

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a produção e o desempenho de biochars obtidos por pirólise de diferentes precursores (carvão, capim-elefante e óleo de algodão), tratados quimicamente, para aplicação na remoção do corante azul de metileno em solução aquosa. O biochar foi produzido em reator de batelada sob atmosfera inerte, seguido por tratamentos de purificação com etanol em Soxhlet e ativação com hidróxido de sódio, a fim de potencializar seus sítios ativos de adsorção. Os ensaios em batelada investigaram parâmetros como concentração inicial do corante, tempo de contato, pH, dosagem de adsorvente, além da influência de íons interferentes. Os resultados preliminares indicaram que o tratamento químico aumentou significativamente a capacidade de remoção, sugerindo ajuste ao modelo de Langmuir, com adsorção rápida nos primeiros 30 minutos e tendência de maior eficiência em pH neutro a básico. Apesar de promissores, os dados obtidos representam uma etapa exploratória, sendo necessários estudos complementares de cinética, isotermas em diferentes temperaturas e aplicação em efluentes reais para validar o potencial do biochar como bioadsorvente de baixo custo.

Palavras-chave: biomassa, pirólise, tratamento de efluentes, adsorção

TITLE: Removal of Methylene Blue Dye Using Biochar Produced from Different Biomasses

Abstract

This study aimed to evaluate the production and performance of biochars obtained from the pyrolysis of different precursors (charcoal, elephant grass, and cottonseed oil), chemically treated for application in the removal of methylene blue dye from aqueous solutions. The biochar was produced in a batch reactor under inert atmosphere, followed by purification with ethanol in a Soxhlet extractor and activation with sodium hydroxide to enhance adsorption sites. Batch adsorption tests investigated parameters such as initial dye concentration, contact time, pH, adsorbent dosage, and the influence of interfering ions. Preliminary results indicated that chemical treatment significantly increased the removal capacity, with adsorption behavior fitting the Langmuir model, fast uptake within the first 30 minutes, and higher efficiency at neutral to basic pH. Although promising, the results represent an exploratory stage, and further studies on kinetics, isotherms at different temperatures, and applications in real effluents are necessary to validate the potential of biochar as a low-cost bioadsorbent.

Keywords: Biochar; Pyrolysis; Adsorption; Methylene blue; Wastewater treatment.

Introdução

1.0 Introdução

A contaminação dos recursos hídricos por resíduos industriais representa um desafio ambiental crítico. Dentre as várias fontes de poluição, a indústria têxtil se destaca pela geração de efluentes líquidos de alta complexidade, carregados com uma diversidade de compostos químicos, incluindo pigmentos sintéticos. O corante azul de metileno é um exemplo emblemático; sua estrutura molecular complexa, projetada para garantir a durabilidade e fixação em tecidos, também confere uma alta recalcitrância ambiental. Essa estabilidade química o torna resistente aos processos de degradação biológica e a muitas abordagens de tratamento convencionais.

A persistência de tais corantes no ambiente aquático desencadeia uma série de impactos ecológicos adversos. Mesmo em concentrações mínimas, sua presença altera drasticamente a cor dos corpos d'água, o que reduz a penetração da luz solar e, consequentemente, inibe a atividade fotossintética de plantas e microrganismos aquáticos, afetando a base da cadeia alimentar. Adicionalmente, a potencial toxicidade desses compostos representa uma ameaça contínua à biota local e, em última instância, à saúde humana, tornando a remediação desses efluentes uma prioridade inadiável.

O tratamento desses efluentes representa um obstáculo significativo, pois as tecnologias correntes se mostram ineficazes. Os tratamentos biológicos convencionais são pouco eficazes contra essas moléculas não biodegradáveis, enquanto abordagens físico-químicas, embora mais efetivas, podem envolver custos operacionais elevados e a geração de subprodutos ou lodos que demandam um descarte controlado. Diante disso, a adsorção surge como uma alternativa promissora, especialmente quando se empregam materiais de baixo custo que promovem a valorização de resíduos agrícolas e industriais, alinhando-se aos princípios da economia circular.

Nesse contexto, o biochar, um material carbonáceo obtido por meio da pirólise de

biomassa em condições limitadas de oxigênio, tem despertado crescente interesse como adsorvente. Sua estrutura intrinsecamente porosa, elevada área superficial e potencial para modificações químicas ou físicas conferem características favoráveis à remoção de poluentes em meio aquoso. Com base nessas propriedades, o presente trabalho foi direcionado à produção de biochars a partir de diferentes matérias-primas carvão, capim-elefante e óleo de algodão e à avaliação de seu desempenho adsorativo. Foi atribuída especial atenção ao tratamento químico pós-pirólise, etapa importante para a purificação e ativação do material, visando à maximização de sua capacidade adsorativa. O estudo também buscou investigar de forma sistemática a influência de parâmetros operacionais, como o pH e o tempo de contato, com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica do uso do biochar como bioadsorvente de baixo custo e elevada eficiência na remoção de azul de metileno. Dessa forma, a pesquisa procura oferecer subsídios para aplicações futuras no tratamento de efluentes têxteis reais.

Metodologia

2.0 Metodologia

2.1 Materiais e reagentes

Para a etapa de produção de biochar por pirólise, foram empregados os seguintes materiais de partida: capim-elefante como biomassa lignocelulósica, carvão (obtido de pirólise prévia da mesma biomassa), óleo de algodão como precursor líquido rico em carbono, hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) como aditivo com potencial catalítico, e gás nitrogênio para a inertização do reator. A escolha destes componentes visou avaliar como a natureza da matéria-prima e a presença de catalisadores influenciam as propriedades finais do biochar.

2.2 Pirólise e produção de biochar

A produção do biochar foi realizada através da pirólise, um processo de decomposição térmica da biomassa em um reator de batelada operando sob uma atmosfera com ausência controlada de oxigênio. O objetivo principal era a obtenção de um material sólido com alto teor de carbono, cujas características pudessem ser moduladas pela matéria-prima. Para garantir as condições anídras e evitar a combustão, o reator foi purgado com gás nitrogênio. O processo ocorreu sob agitação e aquecimento controlados, seguindo um perfil térmico de duas etapas: primeiramente, a mistura foi mantida a 180°C por uma hora, temperatura selecionada para promover a desidratação e a decomposição dos componentes mais voláteis; em seguida, a temperatura foi elevada para 300°C durante 30 minutos finais, visando uma carbonização mais intensa da fração sólida remanescente.

Foram realizados quatro lotes experimentais para gerar biochars com propriedades distintas:

Lote 1: Utilizou 15 g de carvão, 75 mL de óleo de algodão e 3 g de Ca(OH)_2 para gerar um biochar compósito, enriquecido em cálcio e com potenciais propriedades catalíticas modificadas. O rendimento foi de 15 g de biochar.

Lote 2: Consistiu na pirólise de 75 mL de óleo de algodão com 3 g de Ca(OH)_2 para criar uma matriz de carbono derivada do óleo e funcionalizada pela presença do catalisador. O rendimento foi de 17,286 g de biochar.

Lote 3: Para produzir um biochar de elevado teor de carbono, foram combinados 15 g de carvão e 75 mL de óleo de algodão, onde o óleo atuou como agente aglutinante. O rendimento foi de 16,959 g de biochar.

Lote 4: A produção de um biochar derivado de biomassa lignocelulósica foi o foco, utilizando 15 g de capim-elefante e 75 mL de óleo de algodão. O rendimento foi de 16,285 g de biochar.

Ao final do processo de 90 minutos, os biochars sólidos foram coletados para posterior caracterização.

2.3 Preparação do adsorvente e avaliação adsortiva

Após a síntese, os biochars foram preparados para os testes de adsorção. Esta fase do estudo envolveu o tratamento químico dos materiais produzidos e a subsequente avaliação de seu potencial como adsorventes na remoção do corante azul de metileno de soluções aquosas. Os reagentes incluíram hidróxido de sódio e etanol para o tratamento, e sais como KCl, MgSO_4 , NaCl e NH_4Cl para os ensaios de interferência iônica, simulando condições de efluentes reais.

2.4 Tratamento pós-pirólise do biochar

Para purificar e potencializar a capacidade adsortiva, o biochar bruto passou por um tratamento sequencial. A primeira etapa consistiu em uma extração em Soxhlet com etanol por nove horas, visando remover alcatrões e compostos orgânicos residuais que poderiam obstruir a porosidade do material. Em seguida, foi realizada a ativação química com uma solução de NaOH 1 M por 30 minutos para aumentar os sítios de adsorção na superfície carbônica. Por fim, o material foi submetido a sucessivas lavagens com água destilada até atingir pH neutro ($\approx 7,0$) e seco em estufa a 90°C por cinco horas para eliminar a umidade.

2.5 Ensaios de Adsorção em Batelada

A performance dos biochars tratados foi avaliada por uma série de ensaios em batelada, onde uma massa conhecida de adsorvente foi posta em contato com um volume fixo de solução de azul de metileno. O estudo de

isotermas (30-50°C, 50-150 ppm) foi realizado para compreender o equilíbrio do processo. A

cinética (10-120 min) foi monitorada para determinar a velocidade de remoção. A

influência do pH foi analisada para otimizar a interação eletrostática. Também foi conduzida uma

análise comparativa (biochar "in natura", lavado e tratado) para validar a eficácia do tratamento, além de estudos do

efeito da dosagem (10-100 mg) e da presença de íons interferentes.

2.6 Tratamento Pós-Pirólise do Biochar

Com o intuito de purificar e maximizar a capacidade adsortiva dos biochars, aplicou-se um protocolo de tratamento em etapas sequenciais. Primeiramente, o biochar bruto foi submetido a uma purificação em Soxhlet com etanol por nove horas para remover compostos orgânicos solúveis. Na etapa seguinte, realizou-se a ativação química do material com uma solução de hidróxido de sódio 1 M sob agitação por 30 minutos. Por fim, o material foi submetido a sucessivas lavagens com água destilada até a neutralização do pH e seco em estufa a 90°C por cinco horas.

2.7 Ensaio de Adsorção em Batelada

Os ensaios de adsorção foram planejados para avaliar parâmetros fundamentais que influenciam a eficiência do processo. O estudo de isotermas de equilíbrio foi conduzido em diferentes concentrações e temperaturas (30, 40 e 50°C). O comportamento cinético foi monitorado em intervalos de tempo predeterminados. Ensaio específico foram realizados para analisar a influência do pH e a eficácia do tratamento pós-pirólise (comparando biochars "in natura", lavados e tratados). Também foram investigados os efeitos da dosagem do adsorvente e da presença de íons interferentes para simular condições de efluentes reais.

Resultados e Discussões

3. Resultados e Discussão

Após a produção e tratamento dos biochars, foram conduzidos ensaios exploratórios para uma avaliação preliminar do potencial adsorativo do material. Os experimentos foram realizados utilizando espectrofotômetro UV-Vis para determinação da concentração residual do corante, mesa agitadora com controle de temperatura e pHmetro. Os resultados apresentados a seguir constituem uma etapa inicial, de caráter indicativo, e deverão ser aprofundados em estudos subsequentes.

3.1 Análise Comparativa Inicial dos Adsorventes

A comparação entre amostras de biochar da quarta batelada (capim-elefante) em três condições distintas in natura, apenas lavadas e completamente tratadas evidenciou que o tratamento pós-pirólise aumentou significativamente a capacidade de remoção do corante. Acredita-se que a extração com etanol e a ativação alcalina tenham favorecido a limpeza e a ativação da superfície, desobstruindo poros e expondo sítios ativos. Esses resultados, ainda preliminares, reforçam a necessidade de análises comparativas entre todas as matérias-primas utilizadas, após tratamento completo, a fim de identificar a mais promissora.

3.2 Estudo Preliminar de Isotermas de Adsorção

Os ensaios de equilíbrio realizados a 30 °C mostraram que os dados experimentais se ajustaram adequadamente ao modelo de Langmuir ($R^2 > 0,98$), sugerindo um processo de adsorção em monocamada sobre uma superfície relativamente homogênea. No entanto, como o estudo foi conduzido apenas em uma temperatura, são necessários experimentos adicionais em diferentes faixas térmicas (40 e 50 °C), de modo a possibilitar a análise termodinâmica do processo e a obtenção dos parâmetros ΔG , ΔH e ΔS .

3.3 Influência do pH na Remoção

Os resultados indicaram forte dependência da eficiência de remoção em função do pH. Em condições altamente ácidas (pH 1 a 3), a capacidade de adsorção foi reduzida, enquanto em pH neutro a básico observou-se incremento acentuado da eficiência, atingindo elevados percentuais de remoção. Esse comportamento corrobora a hipótese de que, em meios ácidos, a protonação da superfície do biochar dificulta a interação com o corante catiônico, ao passo que em meios mais alcalinos a superfície carregada negativamente favorece a adsorção. Para uma compreensão mais aprofundada, será necessário determinar o ponto de carga zero (PCZ) do material.

3.4 Efeito de Íons Interferentes

A adição de NaCl como íon interferente provocou redução na eficiência de remoção, indicando a competição entre os cátions do sal e as moléculas do corante pelos sítios ativos da superfície do biochar. Este resultado ressalta a relevância de investigar de forma mais detalhada a influência da força iônica, uma vez que efluentes reais apresentam elevada complexidade iônica.

3.5 Perfil Cinético Inicial

O estudo da cinética demonstrou que a adsorção ocorre de forma rápida nas primeiras etapas do processo, com significativa remoção do corante nos primeiros 30 a 40 minutos, seguida por uma fase mais lenta até atingir o equilíbrio próximo de 120 minutos. Este comportamento sugere boa eficiência do material, sendo recomendada a aplicação de modelos cinéticos (pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem) para elucidar os mecanismos de controle do processo.

3.6 Análise Paramétrica de Concentração e Dosagem

A variação da concentração inicial do corante e da massa de biochar confirmou tendências esperadas: a capacidade adsorptiva aumentou com a elevação da concentração inicial da solução, enquanto o percentual de remoção foi diretamente proporcional ao aumento da massa de adsorvente. Com base nesses resultados preliminares, adotou-se a massa de 50 mg como referência para os ensaios subsequentes, por oferecer bom equilíbrio entre eficiência e economia de material.

Em síntese, os resultados obtidos indicam que o biochar tratado apresenta potencial relevante para a remoção do azul de metileno, embora os dados ainda representem uma etapa exploratória. A continuidade das investigações será essencial para ampliar a caracterização do material, ajustar modelos cinéticos e termodinâmicos, além de validar sua aplicação em efluentes reais.

Conclusão

4. Conclusões

O estudo demonstrou o potencial de biochars produzidos a partir de diferentes precursores carvão, capim-elefante e óleo de algodão para a remoção de azul de metileno em meio aquoso. Verificou-se que o tratamento químico pós-pirólise, envolvendo extração em Soxhlet com etanol e ativação com NaOH, foi determinante para o aumento da capacidade adsorptiva.

Os ensaios exploratórios revelaram que a adsorção ocorre de maneira relativamente rápida, com elevada remoção já nos primeiros 30 a 40 minutos, e apresenta desempenho significativamente superior em pH neutro a básico, em consonância com a interação eletrostática entre o biochar e o corante catiônico. Os resultados de equilíbrio ajustaram-se de forma satisfatória ao modelo de Langmuir, sugerindo adsorção em monocamada.

Observou-se ainda que a presença de íons interferentes, como Na^+ , reduziu a eficiência do processo, evidenciando a competição por sítios ativos. Os testes iniciais de dosagem permitiram identificar 50 mg de biochar como uma quantidade adequada para remoção eficaz na faixa de concentrações estudada.

Embora os resultados sejam promissores, este trabalho deve ser entendido como uma etapa preliminar. Para consolidar o potencial do biochar como bioadsorvente de baixo custo, serão necessários estudos aprofundados de cinética, termodinâmica em múltiplas temperaturas, além de ensaios aplicados diretamente em efluentes reais. A continuidade da pesquisa é, portanto, fundamental para otimizar as condições operacionais e validar a viabilidade prática da tecnologia proposta.

Referências

5- Referencias bibliográficas.

- [1] Hameed, B. H.; Din, A. T. M.; Ahmad, A. L. Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: Kinetics and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, v. 141, n. 3, p. 819-825, 2007.
- [2] Ho, Y. S.; McKay, G. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, v. 34, n. 5, p. 451-465, 1999.
- [3] Langmuir, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, v. 40, n. 9, p. 1361-1403, 1918.
- [4] Freundlich, H. M. F. Over the adsorption in solution. *Journal of Physical Chemistry*, v. 57, p. 385-470, 1906.
- [5] Ahmad, M.; Rajapaksha, A. U.; Lim, J. E.; Zhang, M.; Bolan, N.; Mohan, D.; Vithanage, M.; Ok, Y. S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, v. 99, p. 19-33, 2014.
- [6] Tan, X.; Liu, Y.; Zeng, G.; Wang, X.; Hu, X.; Gu, Y.; Yang, Z. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, v. 125, p. 70-85, 2015.

Anexos



Figura 1 - Carvão produzido após pirólise Fonte: Autor



Figura 2 - Carvão dentro do reator após produção



Gráfico 1 – Eficiência de remoção do azul de metileno comparando o biochar "in natura", apenas lavado e completamente tratado. Fonte: Autor



Gráfico 2 – Ajuste dos dados experimentais de adsorção ao modelo de isoterma de Langmuir a 30 °C. Fonte: Autor



Gráfico 3: Efeito do pH na remoção de azul de metileno em diferentes concentrações iniciais. Fonte: Autor



Gráfico 4 – Efeito de diferentes íons na remoção de azul de metileno para concentrações de 50 ppm, 100 ppm e 150 ppm. Fonte: Autor



Gráfico 4 – Efeito de diferentes íons na remoção de azul de metileno para concentrações de 50 ppm, 100 ppm e 150 ppm. Fonte: Autor



Gráfico 4 – Efeito de diferentes íons na remoção de azul de metileno para concentrações de 50 ppm, 100 ppm e 150 ppm. Fonte: Autor



Gráfico 5 – Ajuste dos dados experimentais ao modelo cinético de pseudo-segunda ordem. Fonte: Autor



Gráfico 6 – Influência da dosagem do adsorvente no percentual de remoção em diferentes concentrações iniciais. Fonte: Autor

CÓDIGO: ET1455

AUTOR: ANDRE THIAGO DANTAS RODRIGUES

ORIENTADOR: MIRIAM KARLA ROCHA

TÍTULO: A relação entre crédito e desempenho do setor automotivo brasileiro

Resumo

Este artigo investiga a relação entre crédito e desempenho do setor automotivo brasileiro no período de 1995 a 2024. A pesquisa adota abordagem quantitativa, utilizando correlação de Pearson, regressão linear múltipla com eliminação backward e análise do Fator de Inflação da Variância (VIF), a fim de identificar as variáveis macroeconômicas mais relevantes. Os resultados apontam que crescimento do PIB, taxa Selic, exportações, empregos no setor e desembolsos do BNDES explicam mais de 92% da variação na produção e nas vendas de veículos. Observa-se ainda uma tendência de redução da dependência do setor em relação ao financiamento estatal após 2015. A discussão incorpora diferentes perspectivas teóricas, destacando a visão keynesiana, que enxerga o crédito como motor da demanda agregada, e a crítica austríaca, que alerta para distorções causadas pela expansão artificial do crédito. O estudo contribui para o debate sobre os limites e a sustentabilidade de políticas de crédito direcionado no Brasil.

Palavras-chave: Setor automotivo; Crédito; Política econômica; Estatísticas;

TITLE: The Relationship between Credit and the Performance of the Brazilian Automotive Sector

Abstract

This article investigates the relationship between credit and the performance of the Brazilian automotive sector from 1995 to 2024. The research adopts a quantitative approach, using Pearson correlation, multiple linear regression with backward elimination, and Variance Inflation Factor (VIF) analysis to identify the most relevant macroeconomic variables. The results show that GDP growth, the Selic rate, exports, employment in the sector, and BNDES disbursements explain more than 92% of the variation in vehicle production and sales. There is also evidence of a declining

dependence of the sector on state financing after 2015. The discussion incorporates different theoretical perspectives, highlighting the Keynesian view, which sees credit as a driver of aggregate demand, and the Austrian critique, which warns of distortions caused by the artificial expansion of credit. The study contributes to the debate on the limits and sustainability of targeted credit policies in Brazil.

Keywords: Automotive sector; Credit; Economic policy; Statistics;

Introdução

1 INTRODUÇÃO

Esta introdução apresenta, inicialmente, a relevância do setor automotivo no Brasil e seu papel na economia. Em seguida, expõe o problema, o objetivo do estudo e a justificativa, ressaltando a importância dessa análise para embasar decisões estratégicas e políticas públicas.

1.1 CONTEXTO

O setor automotivo brasileiro ocupa posição estratégica na economia nacional, tanto pelo seu impacto no Produto Interno Bruto (PIB) quanto pela sua capacidade de gerar empregos e atrair investimentos. Conforme a Anfavea (2025), a indústria automotiva responde por parcela significativa da produção industrial brasileira e mantém forte integração com setores como autopeças, logística e serviços. Estudos do IPEA (2022) reforçam essa relevância ao apontar o setor como um dos principais responsáveis pela geração de valor agregado e pela difusão tecnológica no país.

Entre os fatores discutidos como ferramenta no desenvolvimento do setor, está o crédito. Flutuações na disposição de crédito podem impactar significativamente a demanda interna e a capacidade produtiva do setor automotivo.

1.2 PROBLEMA

Apesar da relevância do setor automotivo para a economia brasileira e do papel estratégico desempenhado pelo crédito no estímulo ao consumo e à produção, ainda há incertezas sobre a essa relação a longo prazo. Políticas de crédito, como os desembolsos do BNDES, têm sido frequentemente apontadas como fatores de estímulo ao setor. No entanto, não está claro em que medida esses instrumentos realmente se relacionam com indicadores do setor. Diante disso, surge o problema central desta pesquisa: qual é a relação entre políticas estatais de crédito e o desempenho do setor automotivo brasileiro nas últimas décadas?

1.3 OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo investigar a relação entre as variáveis relacionadas ao crédito e o desempenho do setor automotivo brasileiro, por meio de análise quantitativa utilizando séries históricas e modelos estatísticos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Compreender a interação entre o crédito e o setor automotivo é fundamental para subsidiar decisões estratégicas no setor público e privado. Trabalhos como Cavalcante e De Negri (2014) e Bonomo, Brito e Martins (2015) já evidenciam a importância do financiamento para a indústria automotiva e o consumo de veículos no Brasil.

Entretanto, a maioria dessas análises foca em recortes específicos, como a atuação do BNDES em determinados períodos.

O diferencial deste estudo está em utilizar uma base de dados maior (1995–2024), aplicando técnicas estatísticas que permitam analisar a relação entre variáveis de crédito e indicadores do setor automotivo ao longo do tempo. A correlação de Pearson, por exemplo, possibilita identificar a intensidade e a direção das associações lineares entre os dados (MARÔCO, 2011; GUJARATI, 2011). Já o Fator de Inflação da Variância (VIF) é empregado para detectar multicolinearidade, garantindo maior confiabilidade aos resultados da regressão (HAIR et al., 2009). Por fim, regressão linear múltipla com eliminação backward auxilia na seleção das variáveis mais relevantes, favorecendo modelos parcimoniosos e interpretáveis (HAIR et al., 2009). Assim, a aplicação combinada dessas técnicas oferece um caminho consistente para investigar a relação entre políticas de crédito e o desempenho do setor automotivo brasileiro.

Além disso, este estudo dialoga com diferentes tradições de pensamento econômico que oferecem interpretações distintas. Sob a ótica keynesiana, o crédito funciona como um instrumento essencial para estimular a demanda agregada e impulsionar setores estratégicos, como o automotivo (Keynes, 1983). Já para a Escola Austríaca, o crédito artificialmente expandido pode gerar distorções na estrutura produtiva, criando dependência de estímulos estatais e efeitos de curto prazo que não se sustentam no longo prazo (Mises, 2010; Huerta de Soto, 2009). Essa tensão teórica serve como base para avaliar não apenas os efeitos imediatos do crédito, mas também seus limites.

Metodologia

2 MÉTODO

Este estudo foi conduzido por meio de uma abordagem quantitativa, estruturada em três etapas principais: (1) coleta e preparação dos dados, (2) análise estatística e (3) discussão e interpretação dos resultados.

2.1 COLETAR E PREPARAR OS DADOS

A pesquisa investigou o impacto de indicadores no setor automotivo brasileiro, a partir de dados de fontes reconhecidas como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea) e o Sistema Gerenciador de Séries Temporais do Banco Central do Brasil (SGS/BCB).

Tabela 1 — Tabela de fontes

Foram selecionadas séries históricas anuais relacionadas a variáveis macroeconômicas e setoriais que mensuram os efeitos da expansão de crédito sobre o desempenho da indústria automotiva. Como critério metodológico, foram consideradas apenas séries com ao menos 30 anos (entre 1995 e 2024) de dados disponíveis. Esse recorte também contribui para reduzir distorções, por abranger o período posterior à estabilização econômica promovida pelo Plano Real.

Os dados filtrados incluíram: razão crédito total/PIB, número de autoveículos vendidos, produção nacional de veículos, exportação de veículos, empregos no setor automotivo, desembolsos do BNDES no setor, taxa Selic e o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). Esses dados foram organizados em uma planilha do Microsoft Excel, onde foi elaborada uma matriz de correlação, com o objetivo de identificar relações lineares e orientar as etapas seguintes da análise.

2.2 ANALISAR DADOS

A análise estatística dos dados foi conduzida com o auxílio da linguagem de programação Python, tendo como foco principal a aplicação de modelos de regressão linear simples e múltipla. O objetivo central foi identificar relações estatisticamente significativas entre indicadores de crédito, variáveis gerais da economia e o desempenho do setor automotivo ao longo do período.

Antes da construção dos modelos de regressão, foi realizada uma análise de correlação de Pearson entre as variáveis, calculando os respectivos valores-p para verificar a significância estatística das correlações.

Em seguida, já no ambiente Python, foi calculado o Fator de Inflação da Variância para diagnosticar eventual multicolinearidade entre as variáveis. Variáveis com VIF elevado foram eliminadas para garantir maior confiabilidade nas análises.

A relevância dos modelos foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2), que expressa a variação da variável dependente explicada pela variáveis independentes do modelo. Modelos com R^2 mais elevados foram priorizados, desde que as variáveis mantivessem significância estatística adequada (normalmente com p-valor $< 0,05$).

Para refinar os modelos e assegurar maior consistência nas inferências, utilizou-se o método de eliminação backward (backward elimination). A regressão inicia com todas as variáveis independentes e remove iterativamente as menos significativas (maiores valores de p-valor), até se obter um modelo otimizado contendo apenas os preditores estatisticamente relevantes.

Como variáveis dependentes (Y), foram testadas diferentes medidas de desempenho do setor automotivo, analisadas separadamente: número de veículos vendidos, número de veículos fabricados, empregos no setor e volume de exportação de veículos. Essa abordagem permitiu identificar, de forma segmentada, quais indicadores apresentaram maior poder explicativo em relação a cada dimensão do desempenho do setor automotivo. Após todas as operações estatísticas serem finalizadas, foi elaborado um quadro de resumo para organizar e discutir os dados obtidos.

Para complementar a análise estatística principal, foi desenvolvida uma abordagem exploratória baseada na construção de uma nova base de dados no Excel, com o objetivo de investigar mais profundamente a relação entre os desembolsos do BNDES e o desempenho produtivo do setor automotivo. Inicialmente, foram reunidas as informações anuais referentes à produção nacional de veículos, ao Índice IPCA e aos valores nominais dos desembolsos do BNDES destinados ao setor. Em seguida, os desembolsos foram corrigidos pela inflação com base no IPCA, convertendo os valores nominais para valores reais constantes do ano de 1994, a fim de eliminar os efeitos inflacionários e permitir uma comparação mais precisa entre diferentes períodos.

A partir disso, foi criada uma nova variável: o valor de desembolso por veículo produzido, obtida pela divisão dos desembolsos reais (corrigidos para 1994) pelo total de veículos produzidos em cada ano. A razão entre os dois indicadores permite avaliar o esforço estatal por unidade produzida, funcionando como uma medida aproximada da eficiência marginal do subsídio público ao setor. Com esses dados organizados, foi elaborado um gráfico de linhas com dois eixos verticais: a produção nacional de veículos foi representada no eixo primário (à esquerda), enquanto os desembolsos reais por veículo foram traçados no eixo secundário (à direita), já que as duas variáveis operam em escalas diferentes.

O gráfico produzido serviu como base para uma análise interpretativa, permitindo identificar possíveis padrões de dependência do setor em relação ao crédito subsidiado, bem como variações na efetividade dos estímulos ao longo do tempo. O resultado visual

e a discussão decorrente ajudam a contextualizar os achados estatísticos, oferecendo subsídios para refletir sobre a sustentabilidade das políticas de crédito direcionado no longo prazo.

2.3 DISCUTIR OS RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir das análises estatísticas foram posteriormente interpretados de forma crítica, considerando não apenas os aspectos quantitativos, mas também suas possíveis implicações no contexto econômico brasileiro. A discussão foi conduzida à luz de diferentes abordagens, serviu para contextualizar os dados e ampliar a compreensão sobre os limites e os efeitos de políticas econômicas.

Resultados e Discussões

3 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os principais resultados obtidos a partir da análise estatística dos dados. Inicialmente, expõem-se as estatísticas descritivas das variáveis, seguidas pelas análises de correlação e regressão, que permitem compreender a relação entre crédito e desempenho do setor automotivo.

3.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

As principais variáveis analisadas nesta pesquisa apresentaram um panorama diversificado ao longo do período de 1995 a 2024, conforme mostrado na Tabela 2, refletindo as diferentes fases econômicas, políticas e institucionais pelas quais o Brasil passou nas últimas três décadas.

Tabela 2 — Estatísticas descritivas das variáveis (1995–2024)

Essas estatísticas iniciais forneceram subsídios importantes para a realização das análises subsequentes de correlação e regressão, permitindo uma apreciação mais profunda das relações entre as variáveis estudadas.

3.2 CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS

A matriz de correlação de Pearson revelou diversas associações estatisticamente significativas entre as variáveis macroeconômicas e os indicadores de desempenho do setor automotivo brasileiro. Foram consideradas relevantes apenas as correlações com $p < 0,05$ e $|r| > 0,5$, indicando associações de moderada a forte magnitude.

Tabela 3 — Tabela de correlações entre as variáveis (p)

Tabela 4 — Tabela de correlações entre as variáveis (r)

Após a elaboração das duas matrizes, a tabela a seguir relata as correlações com algum nível de importância e significância estatística para uma futura interpretação maior.

Tabela 5 — Tabela de correlações entre as variáveis (r)

As correlações encontradas podem indicar que o crédito exerce papel relevante no dinamismo do setor automotivo. A associação positiva entre o saldo de crédito em relação ao PIB e variáveis como vendas de autoveículos ($r = 0,609$), produção nacional ($r = 0,577$) e empregos no setor ($r = 0,740$) sugere que a maior disponibilidade de financiamento pode estar ligada à expansão do consumo, à ampliação da produção e à geração de postos de trabalho. Na prática, isso pode significar que o crédito funciona como um motor importante para a demanda de veículos e para a sustentação da atividade industrial associada.

Por outro lado, a correlação negativa entre a taxa Selic e os principais indicadores do

setor reforça a ideia de que juros mais altos encarecem o crédito e desestimulam a compra de bens duráveis. A queda nas vendas, na produção e até nas exportações, em períodos de Selic elevada, pode indicar a forte sensibilidade do setor às condições de financiamento, tornando-o mais vulnerável a políticas monetárias restritivas.

Outro ponto que merece destaque é a forte associação entre vendas e produção ($r = 0,996$), o que pode sugerir que a indústria acompanha de forma quase imediata as oscilações da demanda doméstica. Esse comportamento pode indicar que aumentos nas vendas tendem a ser acompanhados por elevação na produção e no nível de emprego ($r = 0,770$), evidenciando uma cadeia fortemente integrada.

Por fim, a correlação negativa entre exportações e inflação ($r = -0,512$) pode indicar que períodos de preços internos mais altos reduzem a competitividade dos veículos brasileiros no mercado externo. Dessa forma, controlar a inflação pode ser não apenas importante para o mercado interno, mas também para a inserção internacional da indústria automotiva.

3.3 PRODUÇÃO NACIONAL DE VEÍCULOS

A análise da produção nacional de veículos permite compreender como diferentes fatores macroeconômicos e setoriais podem influenciar a atividade industrial ao longo do tempo. Para garantir a consistência dos modelos estatísticos aplicados, inicia-se a investigação com a verificação da presença de multicolinearidade entre as variáveis explicativas.

3.3.1 FATOR DE INFLAÇÃO DA VARIÂNCIA (VIF)

Imagem 1 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes

Para avaliar a presença de multicolinearidade entre as variáveis explicativas do modelo voltado à produção nacional de veículos, foi realizado o cálculo do Fator de Inflação da Variância (VIF). A variável "Vendas de autoveículos (total)" apresentou um VIF elevado (14,44), indicando forte colinearidade com outras variáveis do modelo.

Diante desse resultado, essa variável foi removida do modelo, a fim de reduzir a multicolinearidade e melhorar a qualidade das estimativas.

Imagem 2 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes

Após essa exclusão, os VIFs das demais variáveis foram recalculados, permanecendo todos abaixo do limite crítico de 10, com destaque para a variável "Saldo da carteira de crédito em relação ao PIB (%)", que apresentou um VIF de 5,36. Apesar desse valor estar acima do ideal (próximo de 5), foi considerado aceitável, já que a variável contribui teoricamente e estatisticamente para explicar o desempenho da produção industrial no setor automotivo.

Com isso, foi possível aplicar a regressão linear múltipla com eliminação backward utilizando um conjunto de variáveis independentes que não apresentaram multicolinearidade severa, resultando em um modelo mais estável e confiável.

3.3.2 REGRESSÃO LINEAR BACKWARD

Imagem 3 - Resultado da regressão linear inicial

Com a remoção da variável "Venda Nacional de Veículos", o primeiro modelo estimado apresentou um R^2 de 0,923, indicando um bom nível de explicação da variabilidade da produção nacional de veículos pelas variáveis selecionadas. Na sequência, reestimamos o modelo excluindo as variáveis não significativas.

Imagem 4 - Resultado da regressão linear final

Todas as variáveis remanescentes apresentaram significância estatística ($p < 0,05$), destacando-se os efeitos positivos do Crescimento do PIB, da Exportação de Veículos, do Emprego no Setor e dos Desembolsos do BNDES sobre a produção nacional. Por outro lado, a Taxa SELIC manteve relação negativa com a produção, indicando que

aumentos na taxa de juros tendem a reduzir a produção de veículos no país.

3.4 VENDA NACIONAL DE VEÍCULOS

As vendas nacionais de veículos refletem o comportamento da demanda interna e sua relação com as condições de crédito. Para avaliar seus determinantes, a análise inicia pela verificação da multicolinearidade entre as variáveis explicativas.

3.4.1 FATOR DE INFLAÇÃO DA VARIÂNCIA (VIF)

Imagem 5 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes

Para avaliar a presença de multicolinearidade entre as variáveis explicativas do modelo voltado à venda de veículos, foi realizado o cálculo do Fator de Inflação da Variância (VIF). A variável "Produção Nacional de Veículos" apresentou um VIF elevado (12,98), indicando uma forte colinearidade com outras variáveis do modelo, especialmente com aquelas que capturam aspectos da atividade econômica e do setor automotivo.

Diante desse resultado, optou-se pela remoção da variável "Produção Nacional de Veículos" do modelo, com o objetivo de reduzir a multicolinearidade e, assim, melhorar a precisão e a robustez das estimativas obtidas. Essa decisão permitiu um modelo mais parcimonioso, mitigando os efeitos negativos da multicolinearidade sobre a interpretação dos coeficientes e dos testes estatísticos.

Imagem 6 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes

Após a identificação de alta multicolinearidade no modelo inicial, especialmente associada à variável "Produção Nacional de Veículos" — que apresentou um Fator de Inflação da Variância (VIF) de 12,98 —, optou-se por remover essa variável do modelo de regressão para a venda de veículos.

Com a exclusão da variável, procedeu-se ao recálculo dos VIFs das variáveis remanescentes. Observa-se que todas as variáveis passaram a apresentar valores de VIF inferiores a 6, indicando uma redução significativa da multicolinearidade e, consequentemente, um modelo mais robusto e adequado para interpretação estatística. Os VIFs variaram de 1,36 a 5,36, patamar considerado aceitável, especialmente em modelos de séries temporais e com variáveis econômicas correlacionadas. Destaca-se que a variável com maior VIF foi o "Saldo da carteira de crédito em relação ao PIB" (VIF = 5,36), mas ainda dentro de limites que não comprometem seriamente a estabilidade das estimativas.

3.4.2 REGRESSÃO LINEAR BACKWARD

Imagem 7 - Resultado da regressão linear inicial

Após a remoção da variável "Produção Nacional de Veículos", foi estimado o modelo explicativo para as "Vendas de Autoveículos (total)". A análise de regressão múltipla demonstrou que o modelo manteve uma elevada capacidade explicativa, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,931, indicando que aproximadamente 93% da variação nas vendas de autoveículos pode ser explicada pelas variáveis independentes selecionadas.

Imagem 8 - Resultado da regressão linear final

Prosseguindo com o processo de refinamento do modelo, foi aplicada a técnica de regressão backward, visando eliminar variáveis com menor significância estatística e otimizar a parcimônia do modelo. Como resultado, foram removidas as variáveis com baixos níveis de significância.

O modelo final, com cinco variáveis independentes, manteve um elevado poder explicativo, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,930. As variáveis que permaneceram no modelo apresentaram significância estatística ao nível de 5%: "Crescimento do PIB (%)" ($p = 0,001$), "Taxa Selic Média Anual" ($p = 0,005$), "Exportação de Veículos" ($p = 0,006$), "Empregos no setor" ($p = 0,000$) e "Desembolsos

do BNDES" ($p = 0,013$). A direção dos coeficientes manteve-se coerente, indicando efeitos plausíveis dessas variáveis sobre o volume de vendas de veículos.

3.5 EXPORTAÇÃO DE VEÍCULOS

3.5.1 FATOR DE INFLAÇÃO DA VARIÂNCIA (VIF)

Imagem 9 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes

Na análise inicial do modelo, observou-se um VIF extremamente elevado para as variáveis "Vendas de autoveículos (total)" (325,53) e "Produção Nacional de Veículos" (302,05), indicando severa multicolinearidade.

Imagem 10 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes

Após a remoção das variáveis com VIF excessivamente elevados — "Vendas de autoveículos (total)" e "Produção Nacional de Veículos" — o modelo apresentou uma considerável redução na multicolinearidade geral. O ajuste reduziu o VIF de todas as variáveis restantes, assegurando maior confiabilidade nas estimativas e interpretações dos efeitos das variáveis econômicas sobre o setor automotivo.

3.5.2 REGRESSÃO LINEAR BACKWARD

Imagem 11 - Resultado da regressão linear inicial

Na regressão inicial, o modelo apresentou um R^2 de 0,545, indicando uma baixa validade estatística.

Imagem 12 - Resultado da regressão linear final

Na regressão final, a variável dependente analisada resultou em um modelo com um R^2 de 0,544, mantendo assim, a sugestão que há pouca relevância para uma análise mais concisa.

3.6 EMPREGOS NO SETOR

3.6.1 FATOR DE INFLAÇÃO DA VARIÂNCIA (VIF)

Imagem 13 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes

Novamente, na análise inicial do modelo, observou-se um VIF extremamente elevado para as variáveis "Vendas de autoveículos (total)" (322,06) e "Produção Nacional de Veículos" (305,71), indicando severa multicolinearidade.

Imagem 14 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes

Após a remoção das variáveis com VIF excessivamente elevados — "Vendas de autoveículos (total)" e "Produção Nacional de Veículos" — o modelo apresentou uma considerável redução na multicolinearidade geral.

3.6.2 REGRESSÃO LINEAR BACKWARD

Imagem 15 - Resultado da regressão linear inicial

Após a retirada das variáveis com multicolinearidade, no modelo inicial, foram incluídas seis variáveis independentes: Crescimento do PIB, Saldo da carteira de crédito em relação ao PIB, Taxa SELIC média anual, Exportação de veículos, Desembolsos do BNDES e IPCA.

Imagem 16 - Resultado da regressão linear final

Na segunda regressão, o resultado manteve apenas o Saldo da carteira de crédito como variável explicativa. O R^2 foi de 0,548, um valor baixo para ser levado em consideração para alguma interpretação mais profunda.

3.7 QUADRO DE RESUMO

Tabela 6 — Tabela de resumo das análises estatísticas

3.8 FILTRAGEM DE RESULTADOS CONSISTENTES

A análise dos resultados de regressão evidencia as variáveis mais relevantes para explicar a produção nacional de veículos e as vendas de autoveículos. Os modelos de regressão para produção ($R^2 = 0,921\%$) e vendas ($R^2 = 0,930\%$) mostram forte capacidade explicativa. Por outro lado, variáveis como o emprego no setor automotivo e

exportação de veículos, embora apresentem correlações moderadas ou fortes em análises bivariadas, apresentaram baixos valores de R^2 nos modelos de regressão. Isso indica uma capacidade muito mais limitada de explicar variações na produção e nas vendas de veículos quando controlamos por outros fatores. Por esse motivo, optou-se por não utilizar essas regressões como fator explicativo nas próximas análises.

3.9 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS PERANTE AS TEORIAS ECONÔMICAS

A análise empírica realizada neste trabalho revelou nuances importantes sobre o impacto das variáveis macroeconômicas na produção e venda de veículos no Brasil, permitindo confrontá-las com os pressupostos teóricos das principais escolas econômicas.

Em primeiro lugar, o indicador Saldo da carteira de crédito em relação ao PIB, embora teoricamente alinhado à perspectiva keynesiana — que sustenta que o crédito e a expansão da demanda agregada impulsionam o crescimento —, não se mostrou como um forte preditor nas regressões finais. Isso sugere que, isoladamente, o volume de crédito disponível na economia não tem sido suficiente para explicar de forma robusta a evolução das vendas e da produção de veículos. Esse resultado lança dúvidas sobre a efetividade da demanda agregada como motor exclusivo do crescimento no setor automotivo, ao menos sob a ótica empírica aqui adotada.

Por outro lado, a Taxa Selic apresentou uma forte relação inversa e significância estatística tanto para produção quanto para vendas, revelando-se como um dos principais impulsionadores indiretos do setor. Uma taxa de juros mais baixa favorece o consumo de bens duráveis como automóveis, o que está em linha com as duas abordagens teóricas, mas por razões distintas. Para os keynesianos, essa queda nos juros é desejável e deve ser induzida pela política monetária governamental como forma de reativar a economia. Já para os austríacos, a mesma redução favorece sim setores como o automotivo, mas isso não significa que deva ser induzido pelo governo, pois a expansão do crédito a juros artificialmente baixos provocaria distorções na estrutura produtiva.

Além disso, a variável Desembolsos do BNDES também teve impacto positivo e significativo nas regressões, o que confirma que a atuação direta do Estado por meio de financiamento subsidiado tem efeitos no desempenho do setor. No entanto, sob a ótica austríaca, esses efeitos devem ser vistos com cautela, pois existem ganhos imediatos, mas, segundo eles, não se sustentariam no longo prazo sem o devido respaldo na poupança real da economia. Portanto, é necessária uma análise mais aprofundada sobre esse indicador em específico.

3.10 ANÁLISE SOBRE A INFLUÊNCIA DOS DESEMBOLSOS DO BNDES NO SETOR AUTOMOTIVO

Com base na base de dados construída, foi possível calcular o valor médio de desembolso do BNDES por veículo produzido ao longo do período de 1995 a 2024, já corrigido para valores constantes de 1994. A tabela a seguir apresenta os dados consolidados, incluindo a produção nacional de veículos, os desembolsos totais corrigidos pela inflação e o valor de desembolso real por unidade produzida.

Tabela 7 — Tabela com dados para análise dos Desembolsos do BNDES

A análise dos dados revelou oscilações significativas tanto no volume de produção quanto nos desembolsos médios por unidade. Com o intuito de facilitar a visualização da relação entre essas variáveis, foi construído um gráfico de linhas com dois eixos verticais: a produção nacional de veículos foi plotada no eixo da esquerda, enquanto os desembolsos reais por veículo foram representados no eixo da direita.

Gráfico 1 — Gráfico de relação entre Produção Nacional de Veículos e Desembolsos do

BNDES para o setor por Veículo, corrigido pela Inflação

O gráfico mostra que, entre os anos de 1998 e 2003, houve um aumento significativo nos desembolsos por veículo, sem um crescimento proporcional da produção. Já no período entre 2003 e 2007, observa-se uma queda nos valores médios de subsídio por unidade, acompanhada por um crescimento mais expressivo na produção, sugerindo maior eficiência no uso dos recursos públicos.

A partir de 2008, verifica-se uma nova elevação nos desembolsos por veículo, especialmente entre 2009 e 2014. No entanto, os dados não indicam um crescimento consistente da produção nesse mesmo intervalo, levantando a hipótese de retornos decrescentes à política de subsídio direto via crédito estatal. Após 2015, mesmo com redução no valor dos desembolsos por unidade, a produção manteve-se em patamar relativamente estável, o que sinaliza uma possível transição do setor para um modelo menos dependente dos incentivos públicos diretos.

Conclusão

4 CONCLUSÃO

A consolidação dos resultados apresentados indica que o desempenho do setor automotivo brasileiro é fortemente associado a um núcleo de variáveis — crescimento do PIB, taxa Selic, exportações, empregos no setor e desembolsos do BNDES — que, juntas, explicam mais de 92% da variação na produção e nas vendas. Outros indicadores, apesar de apresentarem correlações relevantes de forma isolada, não mantiveram significância estatística quando analisados simultaneamente, o que reforça a necessidade de olhar para a interação entre variáveis e não apenas para relações bivariadas.

A interpretação à luz das teorias econômicas evidencia pontos de contato e tensão entre Keynes e a Escola Austríaca. A influência positiva dos desembolsos do BNDES e o impacto negativo da taxa Selic sobre a produção e as vendas aproximam-se da visão keynesiana de que o crédito e o estímulo governamental são capazes de ativar a demanda agregada e impulsionar o setor. Por outro lado, a constatação de que períodos de alta no subsídio por veículo não resultaram em crescimento proporcional da produção reforça a crítica austríaca sobre os riscos de distorções e retornos decrescentes em políticas de crédito artificialmente ampliado.

Além disso, a análise do gráfico de desembolso real por veículo produzido revela uma tendência gradual de redução da dependência do setor em relação ao financiamento estatal direto, especialmente após 2015, quando a produção manteve-se relativamente estável mesmo com menores níveis de subsídio por unidade. Esse comportamento sugere uma possível adaptação estrutural da indústria, tornando-a mais resiliente e menos vulnerável a oscilações nas políticas de crédito direcionado.

É importante ressaltar que esses resultados não permitem estabelecer regras universais para a economia. O estudo está restrito ao contexto e às características do setor automotivo, e, como defendem tanto Keynes quanto Mises, a formulação de políticas deve considerar as condições específicas de cada ciclo econômico. Para o primeiro, o crédito estatal é ferramenta indispensável para reverter estagnações; para o segundo, o excesso dele gera desequilíbrios que acabam exigindo ajustes dolorosos.

Assim, o fortalecimento do setor automotivo requer um equilíbrio entre estímulos financeiros, estabilidade macroeconômica e ganhos de produtividade, garantindo que eventuais incentivos públicos se convertam em crescimento sustentável, sem criar dependências ou ineficiências de longo prazo.

Referências

5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2025. São Paulo: Anfavea, 2025.
- BONOMO, Marco; BRITO, Ricardo D.; MARTINS, Bruno. The After Crisis Government-Driven Credit Expansion in Brazil: A Firm Level Analysis. *Journal of International Money and Finance*, v. 55, p. 111–134, 2015.
- CAVALCANTE, Luiz Ricardo; DE NEGRI, Fernanda. Política de inovação e financiamento público no Brasil: a atuação do BNDES no setor automotivo. Brasília: Ipea, 2014.
- GUJARATI, D. N. *Econometria Básica*. AMGH Editora, 2011.
- HAIR, J. F. et al. *Análise Multivariada de Dados*. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HUERTA DE SOTO, J. *A Escola Austríaca: mercado e criatividade empresarial*. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2009.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Panorama Setorial da Indústria Automotiva*. Brasília: IPEA, 2022.
- KEYNES, J. M. *A teoria geral do emprego, do juro e da moeda*. Tradução de Mário R. S. Lima. São Paulo: Atlas, 1983. (Obra original publicada em 1936).
- MARÔCO, J. *Análise Estatística com o SPSS Statistics*. Pêro Pinheiro: Report Number, 2011.
- MISES, Ludwig von. *Ação Humana: Um tratado de economia*. Tradução de Leonel Moura. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2010. (Obra original publicada em 1949).
- SNOWDON, Brian; VANE, Howard R. *Modern Macroeconomics: Its Origins, Development and Current State*. Cheltenham: Edward Elgar, 2005.

Anexos



Tabela 1 — Tabela de fontes



Tabela 2 — Estatísticas descritivas das variáveis (1995–2024)



Tabela 3 — Tabela de correlações entre as variáveis (p)



Tabela 4 — Tabela de correlações entre as variáveis (r)



Tabela 5 — Tabela de correlações entre as variáveis (r)



Imagem 1 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis



Imagem 2 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes



Imagem 3 - Resultado da regressão linear inicial



Imagem 4 - Resultado da regressão linear final



Imagem 5 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes



Imagem 6 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes



Imagem 7 - Resultado da regressão linear inicial



Imagem 8 - Resultado da regressão linear final



Imagem 9 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis



Imagem 10 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes



Imagem 11 - Resultado da regressão linear inicial



Imagem 12 - Resultado da regressão linear final



Imagem 13 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes



Imagem 14 - Resultado do cálculo do VIF das variáveis independentes



Imagem 15 - Resultado da regressão linear inicial



Imagem 16 - Resultado da regressão linear final



Tabela 6 — Tabela de resumo das análises estatísticas



Tabela 7 — Tabela com dados para análise dos Desembolsos do BNDES



Gráfico 1 — Gráfico de relação entre Produção Nacional de Veículos e Desembolsos do BNDES para o setor por Veículo, corrigido pela Inflação

CÓDIGO: ET1471

AUTOR: PEDRO UMBELINO DA SILVA

ORIENTADOR: SANDRA RUFINO SANTOS

TÍTULO: ANÁLISE DE PEDIDOS EXTRAS E ESTOQUES EM UM
LABORATÓRIO DE ANÁLISES CLÍNICAS: IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS
NA GESTÃO DE ESTOQUES

Resumo

A presença da gestão de estoque dentro das organizações é fundamental, pois auxilia no controle dos recursos, ajudando a superar os desvios e desperdícios identificados. Diante disso, este estudo tem por objetivo analisar se a quantidade de pedidos extras de insumos está relacionada com a demanda por exames em um laboratório de análises clínicas localizado no estado do Rio Grande do Norte. Além de sistematizar os problemas apontados na entrevista com funcionários e visitas técnicas in loco, referente ao sistema atual de descentralização de estoques, e mostrar como foi organizada a centralização. Os resultados indicaram que as causas não estão relacionadas à volatilidade da demanda, pois, conforme a análise do gráfico de coeficiente de determinação (R^2), a correlação entre as duas variáveis citadas foi fraca. Dessa forma, pode-se afirmar que problemas na gestão de estoque do laboratório são os principais causadores dos pedidos extras, tais como falhas na solicitação, adiantamento de pedidos, entre outros fatores destacados ao longo do artigo. Como proposta de solução, foi apontado a aplicação da centralização parcial dos estoques, com atribuição de um responsável pelo estoque central e propulsor na solicitação dos pedidos, visando obter dados e salvaguardar os bens de consumo do laboratório.

Palavras-chave: Pedido Extra. Gestão de Estoques. Centralização de Estoque.

TITLE: ANALYSIS OF EXTRA ORDERS AND STOCKS IN A CLINICAL
ANALYSIS LABORATORY: IDENTIFICATION OF PROBLEMS IN INVENTORY
MANAGEMENT

Abstract

The presence of inventory management within organizations is fundamental, as it helps control resources, helping to overcome identified deviations and waste. Therefore, this study aims to analyze whether the number of extra orders for inputs is related to the demand for exams in a clinical analysis laboratory located in the state of Rio Grande do Norte. In addition to systematizing the problems highlighted in interviews with employees and on-site technical visits, regarding the current system of stock decentralization, and showing how centralization was organized. The results indicated that the causes are not related to demand volatility, as, according to the analysis of the coefficient of determination graph (R^2), the correlation between the two variables mentioned was weak. Therefore, it can be stated that problems in the laboratory's inventory management are the main causes of extra orders, such as request failures, advance orders, among other factors highlighted throughout the article. As a solution proposal, the application of partial centralization of stocks was suggested, with the assignment of a person responsible for the central stock and driver in requesting orders, aiming to obtain data and safeguard the laboratory's consumer goods.

Keywords: Extra Order. Inventory Management. Stock Centralization.

Introdução

1. Introdução

A gestão de estoques em laboratórios clínicos é uma tarefa desafiadora, por envolver os gestores e funcionários dos setores que lidam com suprimentos no controle do nível dos estoques de diversos insumos, importantes para o atendimento e funcionamento do laboratório. De acordo com Jacobs et al. (2011), a quebra do estoque se traduz como uma acontecimento onde a demanda não é atendida, podendo causar o cancelamento do pedido e danos à integridade e confiabilidade da empresa.

Tendo isso em vista, o pedido extra, caracterizado pela solicitação de materiais realizada fora do período regular de reposição do estoque, é extremamente necessário e frequente nesse ramo, utilizado para superar falhas da previsão de demanda, eventos de sazonalidade de exames ou até deficiências na organização do estoque. Apesar de representar um custo não planejado, uma despesa a mais para a empresa, o pedido extra é importante na garantia da integridade no atendimento aos clientes, na redução da insatisfação e danos à imagem da marca.

Em posse do conhecimento, o estudo se baseia na análise de dados históricos de solicitações de um laboratório de análises clínicas no Estado do Rio Grande do Norte. Onde, a problemática em pauta é o número expressivo de 69 pedidos extras, realizado ao longo do ano de 2024, com uma frequência de 3 a cada 1 pedido regular solicitado.

Considerando isso, o objetivo idealizado para o trabalho é analisar e averiguar as causas para os pedidos extras, se a demanda atua de maneira sazonal, ou falhas na guarda dos insumos e o como a centralização do estoque atuará no auxílio à estabilização e controle do estoque. Para isso, combinou-se uma abordagem qualitativa, que interpreta decisões e critérios de reposição adotados pela equipe, com uma análise quantitativa, baseada no tratamento estatístico de dados.

Metodologia

2. Metodologia

A modelagem deste Método, foi estruturada conforme apresentado na tabela 1, onde dispõe da classificação metodológica da pesquisa.

Tabela 1 - Classificação metodológica da pesquisa

Fonte: Autoria Própria (2025)

Sobre a natureza, o trabalho é definido como uma pesquisa aplicada, conforme classificação de Ramos et al. (2003), principalmente por tratar da problemática real da gestão de estoques em um laboratório de análises clínicas.

Acerca da abordagem, o estudo se enquadra como qualitativo por apresentar problemas organizacionais como a falha na gestão de estoque, por meio da descrição dos elementos, a partir do conhecimento empírico e de maneira subjetiva e abstrata, sem realizar aferições diretamente, conforme abordagem de Gil (1999).

Concomitantemente, apresenta um viés quantitativo, por meio da investigação de cenários com dados descritivos, sobre a volatilidade da demanda e frequência dos pedidos, o que permite uma compreensão apurada dos processos e fundamentado com os dados, seguindo a perspectiva de Moreira e Calfe (2008).

Quanto aos objetivos, a pesquisa se classifica como exploratório, conforme definição de Prodanov e Freitas (2013), já que visa gerar percepções sobre a problemática estudada, sem esgotar suas complexidades. Já no procedimento metodológico o estudo de caso, conforme proposto por Yin (2001), desenvolvido por meio da análise da realidade física com as observações dos dados e informações da empresa e da identificação de fenômenos operacionais.

O campo de estudo é um único posto de coleta de material biológico para realização de exames laboratoriais, uma dentre várias unidades de operação pertencentes à empresa estudada. A coleta de dados foi realizada, por meio de entrevistas ao gestor da unidade, durante as visitas in loco, ao responsável pelo setor de suprimentos da empresa, e também aos demais profissionais da empresa, com objetivo de entender as particularidades do local e como funciona a gestão de estoques e maneiras de proceder com os pedidos dos materiais.

Em seguida, foram levantados dados quantitativos, por meio de uma base de dados contendo dados históricos de pedidos extras e demanda de exame do estabelecimento (análise documental), fornecidos a partir de planilhas do Microsoft Excel, pela alta gestão da empresa. O intervalo dos dados em questão fazem referência a todo o ano de 2024 e foram coletados entre janeiro e março de 2025. Conforme Gil (1999),

documentos institucionais são fontes válidas para pesquisas aplicadas, permitindo a triangulação entre teoria e prática.

Após a coleta, foram aplicadas ferramentas de análise de dados através de planilhas eletrônicas, servindo para filtrar e agregar os dados necessários, elaborar gráficos e realizar análises estatísticas, como a de correlação através da aplicação do R^2 .

Resultados e Discussões

3. Resultados e Discussão 15704

3.1. Caracterização da empresa

A empresa em estudo atua no ramo de medicina laboratorial no Estado do Rio Grande do Norte há mais de uma década, possuindo diversas unidades de coleta de material biológico, além de centros de análises dos exames laboratoriais. O foco da pesquisa foi concentrado em uma das unidades do laboratório, situada em Natal, que realiza a coleta e recebe material biológico para um coletivo de mais de mil tipos de exames laboratoriais distintos.

Por causa da diversidade de exames ofertados, um grande número de material operacional precisa ser fornecido e acondicionado no estabelecimento. O abastecimento adequado, só é possível graças ao setor de fornecimento e suprimentos, que realiza compra, armazenamento provisório e distribuição dos insumos conforme a necessidade de cada unidade. No entanto, a gestão do estoque das unidades, inclusive a do estudo, fica sob responsabilidade do gerente, controlar e definir a melhor forma para garantir a operação de maneira ágil e responsável dos itens.

Acerca das solicitações, na unidade em questão é feita com a periodicidade quinzenal, sendo precedida por uma contagem manual do volume em estoque de cada material, realizada pelos funcionários da empresa. O resultado da contagem é posto em uma planilha que calcula o valor sugerido a ser pedido para cada material. Então, o gerente se baseia na sugestão presente na planilha ao realizar o pedido, conforme seu conhecimento empírico e conclusões sobre os dados observados.

Na situação onde é notada a necessidade de solicitação de mais materiais para evitar uma ruptura de estoque no intervalo entre pedidos regulares, é feito um pedido extra pelo gerente, no qual ele preenche um formulário onde declara uma motivação entre as 4 seguintes: “adiantamento”, quando um material, que estava presente no pedido regular, é solicitado no pedido extra por uma antecipação de que ele faltaria antes de o pedido regular seguinte; “aumento de demanda”, quando um pico inesperado gera um risco de ruptura; “correção de solicitação errada”, quando a quantidade solicitada do material for digitada incorretamente e; “esquecimento”, quando houver esquecido de solicitar certo material.

Nesse contexto, foi identificado por lideranças da empresa o acontecimento de um alto volume de pedidos extras dessa unidade, onerando os custos logísticos da empresa de uma maneira entendida como extraordinária. Por esse motivo, foi solicitado uma avaliação de quais fatores estariam influenciando essa situação.

3.2. Entrevistas

Para conhecer melhor a unidade Matriz, o ambiente da unidade é dividido em dois espaços, um destinado para o público adulto e outro para o infantil. O espaço adulto é particionado entre os setores: 1) recepção, 2) sala de repouso, 3) sala de preparo, 4) ilha de apoio à coleta, 5) DML, 6) sala de espermograma, 7) sala de coleta e 8) estoque.

Em seguida, para compreender os problemas nos processos da unidade acerca da gestão de estoque foram realizadas visitas técnicas com entrevistas semiestruturadas, com quase todos os profissionais de cada espaço.

3.2.1. Estoque

Nas oportunidades, o armazenamento apresentou-se de maneira descentralizada, dispondo de uma quantidade expressiva de insumos na ilha de apoio a coleta, recepção, Depósito de Materiais de Limpeza (DML) e salas de estoque.

Na ocasião, percebeu-se que a maioria dos locais de armazenamento não possui endereçamento e existe uma desorganização da disposição dos materiais, não se preocupando com o sistema First-In, First-Out (FIFO) que é eficaz para evitar que alguns materiais sejam perdidos por data de validade. Ainda, observa-se no setor Adulto que há estoques desnecessariamente elevados e não existe uma quantidade mínima de segurança para alguns materiais com base na criticidade e importância de cada item, fato agravado pela falta de um sistema de controle de uso dos materiais para uso interno e externo, o que permite que funcionários retirar materiais sem prévio registro ou supervisão.

No setor infantil, o cenário é de menor proporção por causa da demanda inferior comparado com o setor adulto, mas com as entrevistas e visitas identificou-se que há retirada no Kids sem presença de responsáveis e são levados insumos extras para atender eventualidades internas e externas sem registro, além da guarda inadequada de itens alimentícios no setor infantil.

Tal cenário advém da falta de controle e padronização na gestão de estoques internamente, que é baseado na falsa confiança aos funcionários. Pelo fato que a administração para superar as eventualidades da demanda esconde materiais na sua sala.

3.2.5. Pedido e Equipe

Sobre a realização dos pedidos, é utilizado o apoio dos softwares Bitrix e Sankhya para auxiliar com os pedidos regulares e extras. A primeira tarefa relatada é a contagem dos itens presentes no estoque, que é feita pelos funcionários para obter um parâmetro sobre quanto irá ser solicitado no pedido. Assim, com as entrevistas e observações, constatou-se que não há parâmetros para o preenchimento das listas, o que acaba abrindo espaço

para a subjetividade de quem estiver executando a atividade. Além, do processo de contagem não conter identificação dos profissionais operam, apresenta também divergência de códigos entre os softwares utilizados. Observa-se também, a dificuldade de adaptação das listas para a real necessidade de cada setor, demonstrada pela construção das listas sem consultar o dia-a-dia do funcionário, o que leva à falta de materiais ou a duplicação de solicitações, como a de insumo presente na lista de mais de um setor.

Desse modo, a possível causa raiz na realização dos pedidos pode ser gerada pela falta de alinhamento na divisão das tarefas e comunicação entre as unidades, como a separação das funções e a distribuição de materiais. Esse fator, faz com que a gestão fique sobrecarregada e gera também a falta de identificação das pessoas que entram e saem dos ambientes onde possui algum item de armazenamento, facilitando o descontrole do estoque.

3.3. Análise dos Dados

Conforme Yin (2015), a análise de dados consiste na avaliação, classificação, estruturação, verificação, com objetivo de gerar conclusões fundamentadas em observações empíricas. Inicialmente, na coleta dos dados que aconteceu durante o ano de 2024, foram extraídos dados sobre a quantidade de cada exame realizado por mês, quantidade de pedidos extras por mês, motivos dos pedidos extras e feita algumas análises complementares.

De acordo com o gráfico presente na figura 1, os dados coletados revelam que, em 2024, foram realizados 69 pedidos extras pelo posto de coleta, resultando em uma média de 5,75 pedidos extras ao mês. Segundo revelado pelos responsáveis pelo processo de fornecimento de materiais, é preestabelecido que a unidade realize um pedido de material por quinzena, o que daria uma média próxima de 2 pedidos regulares por mês.

Figura 1 - Série histórica de pedidos extras da unidade em 2024

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Com isso, pode-se notar que o volume de pedidos extras é, em média, quase o triplo da quantidade de volumes regulares. Tal fato indica um descontrole acentuado na gestão de materiais da empresa, a ponto de o local depender das exceções para manter o pleno funcionamento.

Após conhecer esses dados, foi questionado à liderança da unidade sobre os possíveis fatores que influenciam esse fenômeno. Na ocasião, foi respondido que a principal razão para necessidade de realizar pedidos extras é a volatilidade da demanda, que possui picos inesperados que fazem com que o consumo de certos materiais seja maior que o esperado no momento do pedido. Segundo ele, a unidade realiza um alto volume de coletas, sendo uma das maiores da empresa, o que faz com que as variações sejam mais frequentes e impactantes.

Também foi perguntado, à liderança, mais detalhes sobre o comportamento da demanda na unidade, podendo ser levantadas as seguintes informações: há um comportamento sazonal bem definido, com uma baixa no volume de exames realizados de dezembro a fevereiro, retomando o crescimento em março. O pico de demanda seria atingido, normalmente, entre julho e novembro, não sendo possível citar um período mais estreito. As informações foram confirmadas pelo responsável pelo fornecimento de materiais da empresa e, com tais hipóteses em mente, seguiu-se a coleta de dados, buscando averiguar se a percepção dos gestores era coerente com os dados históricos do último ano e encontrar outras possíveis causas para a incidência de pedidos extras.

Nessa etapa, foram levantados dados sobre a demanda total do posto e sua distribuição para cada tipo de exame realizado e dados sobre os pedidos extras, incluindo levantamento dos motivos alegados nos pedidos. Por limitações do sistema utilizado pela empresa, não foi possível levantar dados sobre os tipos de materiais que foram solicitados em cada pedido extra. Através desses dados, elaborou-se um gráfico de barras combinado (Figura 1), a partir do qual pôde-se avaliar detalhadamente a correlação entre a demanda total de exames da unidade de coleta e o volume de pedidos extras feitos pela mesma unidade em 2024.

Figura 2 - Gráfico de pedidos extras por motivo x quantidade de exames no ano de 2024

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Como explicado anteriormente, os pedidos extras são realizados entre períodos de pedido regular, e para poder proceder o gestor precisa classificar dentre os motivos de: esquecimento, adiantamento, aumento de demanda e correção de solicitação errada.

Partindo para a demanda de exames, o maior volume de pedidos extras se deu em janeiro de 2024, com 9 ocorrências, sendo 7 pelo motivo de adiantamento e 2 pelo motivo de aumento da demanda. Entretanto, conforme informações obtidas na entrevista esse também foi um período de baixa demanda em relação ao resto do ano, em conformidade com a sazonalidade relatada pelas lideranças. Também pode ser notado que março foi o segundo mês com mais pedidos extras (8), tendo dobrado a quantidade do mês anterior. Porém, entre fevereiro e março, houve um aumento de 22,97% na demanda (figura 3), o que pode ter gerado a necessidade de realizar pedidos extras por adiantamento e aumento da demanda. Entretanto, esse aumento de demanda sazonal foi citado durante as consultas, portanto deveria ser considerado no planejamento das lideranças.

Figura 3 - Gráfico de quantidade de exames e variação da demanda

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Entre abril e junho, por sua vez, houve uma diminuição progressiva na demanda de exames, porém a quantidade de pedidos extras se manteve a mesma, com um valor de 6 pedidos, e, mesmo com um aumento de 23,28% na demanda (maior variação do ano) entre junho e julho, o número de pedidos extras se manteve o mesmo. Desse modo, não tem fundamento a solicitação pelo motivo de aumento da demanda, pois não foi o que aconteceu, dando a entender que houve um erro na escolha dos motivos.

Em contrapartida, no mês de dezembro houve uma diminuição de 18,33% na demanda e o número de pedidos extras caiu para 1, menor valor registrado ao longo do ano. Porém, apesar da correlação, foi identificado após investigações que essa variação se deve a uma alteração no período de realização de pedidos regulares: devido à alta quantidade de pedidos extras, foi instituído que, ao invés de ocorrer quinzenalmente, os pedidos regulares passariam a ocorrer semanalmente.

Ao analisar no gráfico da figura 3 e compará-lo com a figura 4, é perceptível que o motivo mais alegado na realização dos pedidos extras é o de “adiantamento” (35 ocorrências). Em segundo lugar está o “aumento de demanda” (29 ocorrências) e, em terceiro, está o motivo “esquecimento” (3 ocorrências), seguido de “correção de solicitação errada” (2 ocorrências). Isso mostra que a liderança da unidade também comete equívocos na solicitações de materiais, indicando que pode haver um problema no processo de levantamento de estoques ou de pedido de materiais em si.

Para ter uma determinação mais objetiva sobre a interdependência entre a demanda total ou sua variação e a incidência de pedidos extras, foi realizada uma análise de correlação através de Regressão Linear. Os gráficos presentes nas Figuras 5 e 6 demonstram o resultado da análise. Desse modo, os valores de R^2 foram utilizados para identificar a variação da variável resposta em um modelo linear. Em resumo, quando o modelo se aproxima de 0, isso significa que ele não explica a variabilidade dos dados ao redor da linha de tendência, que geralmente é a média. Já quando o modelo se aproxima de 1, indica que há correlação e explicação na variabilidade dos dados.

Figura 4 - Gráfico da correlação entre nº de exames e nº de pedidos extras

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 5 - Gráfico da correlação entre variação da demanda e nº de pedidos extras

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Desse modo, conforme as Figuras 4 e 5, ambos os casos servem como evidência objetiva de que não há correlação entre a demanda total de exames do posto e a quantidade de pedidos extras, resultando em um R^2 de 0,019, na figura 4. No caso da variação mensal e da quantidade de pedidos extras realizados expressa na figura 5, o R^2 foi de 0,272, indicando que as causas decorrem de falhas na gestão de estoques da empresa.

3.4. Impacto da Centralização do Estoque

Em conformidade com a visão de Bowersox e Closs (1996), a descentralização do estoque permite um atendimento mais rápido ao cliente, por causa da disposição próxima dos produtos ao local de necessidade, o que eleva o nível de serviço prestado pela empresa. A Tabela 2 apresenta uma comparação entre as estratégias de centralização e descentralização de estoques segundo quatro critérios relevantes na área da logística, conceituada por Faria (2016).

Tabela 2 - Classificação metodológica da pesquisa

Fonte: Autoria Própria (2025)

No laboratório em estudo os insumos estão organizados de forma descentralizada permitindo assim, uma maior facilidade no acesso para uso na coleta e recepção, que evita o deslocamento e a perda de tempo. No entanto, a descentralização gera maior dispêndio financeiro com os estoques, perdas de produtos, excesso de produtos e solicitações extras, quando não há um controle de estoque eficaz, que acompanhe virtualmente ou fisicamente com frequência a necessidade de cada setor.

Com foco na solução dos problemas, foi proposto a centralização dos insumos que são utilizados na coleta, pois, a ideia de centralização do estoque apresenta soluções a curto prazo, para que o gestor consiga estabelecer o controle de estoque e inclusive adotar níveis menores de estoque, uma vez que existe problemas de padronização no estoque, na realização do inventário e também no acesso a esses materiais. Para detalhar, a solução proposta foi aplicada em um inventário no local, onde foram contados todos os itens do estoque central e das “ilhas” em cada setor, com o objetivo de identificar a demanda diária dos itens e as ilhas auxiliarão a prestação de serviço de maneira mais controlada.

A metodologia combinada foi que cada setor só solicitaria insumos uma única vez no dia a sala de estoque, que permaneceria trancado sob cuidados de um único funcionário ciente do processo e de boas práticas do estoque, evitando assim problemas operacionais e risco de desalinhamentos. Em posse disso, o gestor conseguirá ter mais controle e visualização do estoque mínimo, giro do estoque e acesso a demais métricas por cada item do estoque, inclusive conseguirá se antecipar para aumentos sazonais e consequentemente poderá diminuir o número de pedidos extras, com a evolução da maturidade da gestão de estoque no estabelecimento.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar se o alto volume de pedidos extras de um laboratório de análises clínicas se devia à volatilidade da demanda ou a falhas na gestão de estoques do estabelecimento e complementado pelo relato da centralização do estoque iniciada pela empresa. Para avaliar tais hipóteses, foi empregada uma abordagem mista, que envolveu levantamento de informações através de entrevistas e coleta de dados quantitativos dispostos em planilhas, e experiências obtidas com entrevistas e visitas. A partir da análise dos dados de 2024 e das entrevistas realizadas com o gerente e outros integrantes da empresa, foi possível identificar um cenário de forte dependência de exceções para garantir o funcionamento do posto, evidenciado pela quantidade média mensal de pedidos extras — quase três vezes superior à de pedidos regulares.

Ainda que tenha havido uma melhora pontual em dezembro, o período foi marcado pela mudança na frequência dos pedidos regulares, passando de quinzenal para semanal. Essa alteração pode apenas ter institucionalizado as exceções, mantendo, aproximadamente, a média de pedidos gerais e, portanto, os custos com a separação, envio e armazenamento dos materiais.

Embora a liderança tenha atribuído essa realidade à volatilidade da demanda, a análise quantitativa demonstrou que não há correlação significativa entre o volume total ou a variação mensal da demanda de exames e a quantidade de pedidos extras. Esse resultado enfraquece a justificativa apresentada e aponta para falhas sistêmicas na gestão de estoques da empresa, que podem estar situadas na previsão de demanda, no controle do consumo ou no processo de contagem e solicitação.

A partir das entrevistas e visitas no laboratório de análises clínicas foi possível identificar os problemas na gestão de estoque, tais como a falta de: padronização na procedimento, padronização na etiquetagem, confiança nos funcionários, níveis do estoque determinado, processo de retirada de itens no estoque, clima organizacional e demais problemas observado durante as visitas.

Então, conclui-se que o objetivo do trabalho foi alcançado uma vez que a pesquisa conseguiu responder de maneira prática e comprovada aos problemas ausência no controle de estoques, planejamento da demanda e de deficiências no processo de solicitações de materiais, e contribuiu com a proposta da centralização parcial do estoque.

Para melhorar o panorama encontrado, recomenda-se a implementação de um sistema de gestão mais robusto, com previsões baseadas em dados históricos e um reforço nos treinamentos das equipes responsáveis, para garantir a regularidade do levantamento dos estoques e da solicitação de materiais.

Sendo assim, compreende-se que este trabalho contribuiu com a análise de problemas relacionados à gestão de estoques. Para estudos futuros, sugere-se uma análise da demanda da gestão de estoque e aplicação de indicadores, para melhorar a eficiência no estoque e diminuir a frequência dos pedidos extras.

Referências

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2001.

FARIA, Felipe Álvares de. Estudo da centralização de estoques em um sistema de distribuição de medicamentos. 2016. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade de Brasília, Brasília.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

JACOBS, F. R., BERRY, W. L., WHYBARK, D. C., VOLLMANN, T. E. Manufacturing planning and control for supply chain management. New York: McGrawHill, 2011.

MOREIRA, H; CALEFFE, L. G. Metodologia da pesquisa para o professor pesquisador. 2. ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2008.

PRODANOV, C.; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e trabalho científico. 2. ed. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013.

RAMOS, P.; RAMOS, M. M.; BUSNELLO, S. J. Manual prático de metodologia da pesquisa: artigo, resenha, projeto, TCC, monografia, dissertação e tese Blumenau: Acadêmica, 2003.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

Anexos



TABELA 1



TABELA 2



FIGURA 1



FIGURA 2



FIGURA 3



FIGURA 4



FIGURA 5

CÓDIGO: ET1491

AUTOR: DEBORA SABRINA BORTOLUSSI

COAUTOR: LARA FERNANDES DE MEDEIROS

COAUTOR: GEIZA SILVA SANTOS

COAUTOR: ANNE MILENA DA SILVA

COAUTOR: JEFFERSON OLIVEIRA SILVA

ORIENTADOR: KARINA PATRICIA VIEIRA DA CUNHA

TÍTULO: ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO COMO INDICADORES DE DEGRADAÇÃO EM LIXÕES DESATIVADOS DO RIO GRANDE DO NORTE: BASE PARA RECUPERAÇÃO E MONITORAMENTO AMBIENTAL

Resumo

Com o crescimento das cidades e da população, cresce também a demanda por recursos e produtos, resultando em maior produção de resíduos e em um dos grandes desafios da gestão municipal. O descarte inadequado em lixões provoca degradação do solo, contaminação de corpos hídricos e riscos à saúde pública, mesmo após a desativação deles. Este estudo analisou o solo de três lixões desativados em municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi. Para isso, foram analisados a densidade do solo e de partículas, porosidade total, granulometria, pH, condutividade elétrica, carbono orgânico total, matéria orgânica e fósforo disponível. Os solos de lixão apresentaram aumento da condutividade elétrica, do pH, do teor de matéria orgânica e fósforo disponível e maior porosidade total. Essas modificações aparentemente elevam a fertilidade do solo, mas também intensificam riscos ambientais, como lixiviação e carreamento de nutrientes, sais e contaminantes para corpos hídricos, potencializando processos de eutrofização. Os resultados indicam que os impactos variam de acordo com o tipo de solo, clima e histórico de uso de cada local. Portanto, conclui-se que a disposição irregular de resíduos causa alterações no solo que se mantém após a desativação, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo e de estratégias de recuperação ambiental para mitigar os impactos e promover o manejo sustentável desses resíduos.

Palavras-chave: resíduos sólidos; contaminação ambiental; Bacia do Rio Potengi.

TITLE: PHYSICAL AND CHEMICAL SOIL ATTRIBUTES AS INDICATORS OF
DEGRADATION IN DEACTIVATED DUMPSITES IN RIO GRANDE DO NORTE:
BASIS FOR RECOVERY AND ENVIRONMENTAL MONITORING

Abstract

With the growth of cities and population, the demand for resources and products also increases, resulting in greater waste generation and one of the major challenges for municipal management. Inadequate disposal in open dumpsites leads to soil degradation, contamination of water bodies, and risks to public health, even after their deactivation. This study analyzed the soil of three deactivated dumpsites located in municipalities within the Potengi River basin. For this purpose, bulk density, particle density, total porosity, granulometry, pH, electrical conductivity, total organic carbon, organic matter, and available phosphorus were evaluated. The dumpsite soils showed increases in electrical conductivity, pH, organic matter content, available phosphorus, and total porosity. These modifications apparently enhance soil fertility but also intensify environmental risks, such as leaching and the transport of nutrients, salts, and contaminants to water bodies, thereby increasing the potential for eutrophication processes. The results indicate that impacts vary according to soil type, climate, and the historical use of each site. Therefore, it is concluded that irregular waste disposal causes soil alterations that persist after dumpsite closure, reinforcing the need for continuous monitoring and environmental recovery strategies to mitigate impacts and promote the sustainable management of such waste.

Keywords: solid waste; environmental contamination; Potengi River Basin.

Introdução

O crescimento populacional, a urbanização acelerada e a melhoria das condições de vida têm elevado o consumo de recursos e produtos resultando na maior geração per capita de resíduos sólidos, especialmente nos países em desenvolvimento (Minghua et al., 2009). No Brasil, a gestão de resíduos sólidos é um grande desafio devido às dimensões territoriais e desigualdades socioeconômicas (Santos et al., 2025). O descarte inadequado de resíduos sólidos urbanos em lixões a céu aberto tem provocado a poluição do solo, de corpos hídricos e de aquíferos subterrâneos, além de favorecer a proliferação de doenças transmitidas por vetores que encontram nos lixões condições favoráveis de sobrevivência, como dengue, leishmaniose, leptospirose e esquistossomose (IPEA, 2020).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), estabeleceu que todos os resíduos sólidos produzidos no Brasil devem ser destinados a sistemas ambientalmente adequados de disposição final (Brasil, 2010). Com isso, busca-se eliminar práticas de descarte irregular que geram impactos negativos ao meio ambiente, como os lixões (Mangieri; Tavares Filho, 2015; Lira et al., 2017; Milhome et al., 2018).

O encerramento das atividades em lixões resulta na formação de áreas degradadas. Esses locais, destinados ao descarte de resíduos sólidos, carregam riscos significativos

de contaminação do solo e das águas subterrâneas devido, por exemplo, ao chorume proveniente da decomposição da matéria orgânica. Além disso, podem intensificar processos erosivos, causar compactação do solo, liberar gases de efeito estufa, impactar negativamente a fauna local e reduzir a biodiversidade nativa, entre outros problemas (Azevedo et al., 2015; Costa et al., 2016). O estudo de lixões desativados tem ganhado destaque, uma vez que, mesmo após sua desativação, esses locais ainda representam riscos ambientais. As análises realizadas nesses espaços são amplamente utilizadas em pesquisas que buscam avaliar as condições ambientais e a qualidade do solo, investigando aspectos como taxa de infiltração, drenagem, erosão e compactação (Lopes et al., 2015).

As informações mais relevantes para a avaliação da qualidade do solo envolvem indicadores como porosidade total, densidade do solo e das partículas, além da textura. A análise dos atributos químicos deve ser direcionada às condições ambientais, pois esses indicadores refletem a fertilidade do solo e permitem identificar alterações resultantes do manejo adotado (Freitas et al., 2017).

Dessa forma, a pesquisa sobre os indicadores físicos e químicos do solo em lixões desativados do Rio Grande do Norte se apresenta como um instrumento valioso para compreender a magnitude da degradação ambiental e estabelecer bases científicas para estratégias de recuperação e monitoramento ambiental, especialmente no contexto estadual. A identificação de indicadores específicos de degradação contribui não apenas para a mitigação dos impactos ambientais, mas também para a implementação de práticas de manejo sustentável e planejamento territorial, promovendo a preservação dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida das populações locais.

Metodologia

A área de estudo engloba três lixões desativados, situados em Natal, São Gonçalo do Amarante e Serra Caiada, municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Potengi. Os municípios Natal, São Gonçalo do Amarante situados na região litorânea e no ecótono entre mata atlântica e caatinga, e Serra Caiada situada na região semiárida, tipicamente do Bioma Caatinga. Quando ativos os lixões receberam resíduos sólidos urbanos de diversas naturezas, como resíduos de construção civil, de matadouros municipais, de poda, resíduos domésticos e eletrônicos, e até resíduos hospitalares, por 30, 20 e 8 anos (Marinho et al., 2022), e estão desativados há 14, 15 e 11 anos, respectivamente (Figura 1).

Figura 1. Municípios de Natal, São Gonçalo do Amarante e Serra Caiada (RN), onde se localizam lixões desativados, em relação à Bacia Hidrográfica do Rio Potengi. Fonte: Autores (2025).

Os climas de Natal e São Gonçalo do Amarante, por localizarem-se na mesma região, são classificados como As, tropical quente e úmido, com períodos chuvosos no inverno e verão quente. Já Serra Caiada, tem seu clima caracterizado como BSh, semiárido quente, com verões e invernos secos (Álvares et al., 2013). A população dos municípios, no último censo, era de 751.300, 115.838 e 10.125 habitantes, respectivamente (IBGE, 2022). Os municípios possuem tipos de solo distintos. Os solos predominantes são o Neossolo Quartzarênico, Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo, nessa ordem, para Natal, São Gonçalo do Amarante e Serra Caiada (Figura 2).

Figura 2. Mapa pedagógico dos municípios de Natal, São Gonçalo do Amarante e Serra Caiada (RN), que abrigam lixões desativados, em relação à Bacia do Rio Potengi.
Fonte: Autores (2025).

Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 cm em cinco pontos amostrais simples. Essas cinco amostras simples foram misturadas para retirada de uma amostra composta. Todo procedimento foi repetido três vezes, para cada área de estudo, a fim de se obter três repetições. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos lacrados com identificação adequada e mantidas em temperatura ambiente para análise em laboratório. O mesmo método foi adotado para coleta e preparo do solo das áreas de controle, áreas com crescimento de vegetação nativa adjacente aos lixões com mesma classe de solo (EMBRAPA, 2013), a fim de comparar os resultados das análises realizadas.

Seguindo a metodologia de Teixeira et al. (2017), as amostras foram secas em estufa (a 45°C), destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, para a obtenção da terra fina seca em estufa (TFSE). Posteriormente, as amostras foram caracterizadas física e quimicamente: granulometria (método da pipeta), densidade do solo (método da proveta), densidade de partículas (método do balão volumétrico) e porosidade total (relação entre a densidade do solo e de partículas), pH em água (1:2,5), condutividade elétrica (CE) em água (1:1), carbono orgânico total (COT) (método Walkley-Black modificado), teor de matéria orgânica (MO) (produto do valor de carbono orgânico por 1,724, admitindo que o húmus tem em sua composição aproximadamente 58% de carbono) e fósforo disponível (P) (por colorimetria após extração com extrator Mehlich-1).

A partir da análise dos atributos físicos e químicos do solo foi possível identificar o grau de degradação nas áreas dos lixões desativados. Isso é fundamental para compreender a extensão das alterações causadas pela disposição inadequada de resíduos, pois permite diagnosticar processos de degradação, subsidiar estratégias de recuperação e fornecer bases técnicas para o monitoramento contínuo da qualidade do solo.

Resultados e Discussões

Os solos naturais e de lixão apresentam diferenças significativas entre si. A análise de componentes principais (PCA) (Figura 3) explicou 80,8% da variação total dos dados. As variáveis areia (Sand), fósforo (P), matéria orgânica (OM, SOM), pH, condutividade elétrica (EC), silte (Silt) e porosidade total (TP) estiveram correlacionadas ao eixo 1 que explicou 51,7%. O teor de argila (Clay) e densidade do solo (BD) estiveram correlacionadas ao eixo 2 explicando 29,1% da variabilidade dos dados. Adicionalmente, os parâmetros que foram avaliados estão resumidos na Tabela 1, que permite uma visão mais detalhada das alterações que ocorreram.

Figura 3. Análise de Componentes Principais (PCA) das propriedades do solo em lixões desativados no Rio Grande do Norte, Brasil. Fonte: Autores (2025).

Tabela 1. Tabela de atributos físicos e químicos dos solos em lixões desativados no Rio Grande do Norte, Brasil. Fonte: Autores (2025).

O solo do lixão de Natal, apresentou maior teor de argila, indicando que a principal alteração provocada pelo lixão foi física, o acréscimo no teor de argila pode gerar maior compactação e menor infiltração. Isso pode evidenciar que substratos argilosos foram utilizados para recobrimento da área (Nascimento, 2017), pois ela é utilizada como estação de transbordo. Nesse contexto, o escoamento superficial tende a ser intensificado, podendo transportar contaminantes em direção aos cursos d'água que alimentam o Rio Potengi, e com isso, contribuir para o aumento da carga poluidora que é lançada indiretamente na bacia hidrográfica.

Em São Gonçalo do Amarante, o descarte irregular de resíduos provocou aumento de aproximadamente 26% no pH, 30% na condutividade elétrica, 14% no carbono orgânico total e 14% na matéria orgânica em relação ao solo natural. As frações silte e argila mostraram aumentos significativos, de 152% e 110%, respectivamente. Esses resultados evidenciam que as principais alterações no solo de lixão ocorreram em atributos químicos, aumentando significativamente a salinidade e a fertilidade do solo, mas também houve modificações importantes na composição granulométrica.

No solo de lixão de Serra Caiada, a condutividade elétrica aumentou cerca de 46%, refletindo maior acúmulo de sais solúveis provenientes dos resíduos depositados. Esse aumento pode reduzir a disponibilidade de água para plantas e microorganismos presentes no solo. Considerando que a área está inserida na bacia do Rio Potengi, essas alterações químicas podem contribuir para o transporte de sais e nutrientes para o solo e os cursos d'água, com possíveis impactos ambientais na região.

Conclusão

- Solos de lixão se tornam mais alcalinos, salinos, porosos e enriquecidos em fósforo e matéria orgânica.
- pH, condutividade elétrica, porosidade total, teor de matéria orgânica e fósforo disponível foram indicadores sensíveis à disposição irregular de resíduos, evidenciando os processos de degradação ambiental ativos em lixões desativados.
- Recomenda-se a elaboração e implementação imediata de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) nos lixões desativados, a fim de restaurar o equilíbrio ambiental, reduzir passivos e assegurar a sustentabilidade do uso futuro dessas áreas.

Referências

Álvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G.; Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Azevedo, P. B.; Leite, J. C. A.; Oliveira, W. S. N.; Silva, F. M.; Ferreira, P. M.

L.; Diagnóstico da degradação ambiental na área do lixão de Pombal – PB. Revista Verde de

Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, v. 10, n.1, p. 20 - 34, 2015.

Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7300911.pdf>. Acesso em: 4 mar.

2021.

Berticelli, R.; Pandolfo, A.; Korf, E. P.; Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: perspectivas e desafios. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 711-744, out. 2016/mar. 2017. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3624/2823.

Costa, T. G. A.; Iwata, B. F.; Castro, C. P.; Coleho, J. V.; Clementino, G. E.

S.; Cunha, L. M.; Impactos ambientais de lixão a céu aberto no Município de Cristalândia,

Estado do Piauí, Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e

Sustentabilidade, João Pessoa, v. 3, n. 4, p. 79-86, 2016.

<http://dx.doi.org/10.21438/rbgas.030408>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. 2013. Brasília, DF.

Freitas, L.; Oliveira, I. A.; Silva, L. S.; Frare, J. C. V.; Filla, V. A.; Gomes, R. P.; Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. Unimar Ciências, Marília, v. 26, n. 1-2, p. 8-25, 2017. Disponível em: <https://ojs.unimar.br/index.php/ciencias/article/view/511>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. Artigos. Brasília: IPEA, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>.

Lira, K.R.; Rodrigo, C.; Chaer, G.M.; Pereira, M.G.; Resende, A.S.; Soil

fauna as bioindicator of recovery of degraded areas in the caatinga biome. Revista Caatinga,

Mossoró, v. 30, n. 2, p. 401 – 411, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n215rc>.

Lopes, A. M. A. et al.; Análise da destinação final dos resíduos sólidos no município de Paragominas – Pará, Brasil. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 28., 2015, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABES, 2015. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento29/TrabalhosCompletoPDF/III-381.pdf>.

Mangieri, V. R. L.; Tavares Filho, J.; Solid waste disposal in the soil: effects on the physical, chemical, and organic properties of soil. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.

36, n. 2, p.747-764, 2015. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p747>.

Marinho, A. P. F.; Nascimento, C. W. A.; Cunha, K. P. V.; Soil degradation and Cu, Cr, Ni, Pb and Zn contamination in dumpsites of humid and semiarid tropical regions in northeastern Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, v. 194, p. 459, 2022. DOI: 10.1007/s10661-022-10122-8.

Milhorne, M. A. L.; Holanda, J. W. B.; Araújo Neto, J. R.; Nascimento, R. F.;

Diagnóstico da contaminação do solo por metais tóxicos provenientes de resíduos sólidos

urbanos e a influência da matéria orgânica. Revista Virtual de Química, Niterói, v.10, n. 1,

p.59-72, 2018. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20180007>.

Nascimento, D. S.; Qualidade ambiental do solo no lixão desativado de Cidade Nova, Natal-RN. 2017. 20f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

Santos, A. S.; Ávila, E. A. S.; Rezende, S. E. F.; Ferreira, V. S.; Almeida, K. C. N.; Desafios jurídicos na gestão de resíduos sólidos: implementação do Plano Estadual de Resíduos Sólidos na Região Norte de Goiás. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação (REASE), São Paulo, v. 11, n. 5, p. 6258–6273, maio 2025. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/19519>.

Santos, V. A.; Avaliação dos impactos ambientais do lixão no município de Belém de São Francisco – PE. 2022. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal, 2022. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/26579/1/VICTOR%20ALVES%20SANTOS%20-%20TCC%20ENGENHARIA%20CIVIL%202022..pdf>.

Sousa, N. C.; Assunção, É. M. S.; Silva, H. F.; Bastos, R. S.; Passos, I. N. G.; Análise química do solo no lixão inativo na cidade de Grajaú-MA. Research, Society and Development, v. 11, n. 12, e390111233265, set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.33265>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/363713383_Analise_quimica_do_solo_no_lixao_inativo_na_cidade_de_Grajaú-MA.

Teixeira, P.; Donagemma, G.; Fontana, A.; Teixeira, W.; “Manual de métodos de análises do solo”. 2017. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa do Solo.

Teodósio, A. S. S., Gonçalves-Dias, S. L. F., Santos, M. C. L.; Reciclagem no

Interstício das Relações Intersetoriais: a Política Nacional de Resíduos Sólidos e os desafios para a inclusão social e produtiva dos catadores.

Anexos



Figura 1. Municípios de Natal, São Gonçalo do Amarante e Serra Caiada (RN), onde se Localizam Lixões Desativados, em Relação à Bacia Hidrográfica do Rio Potengi.



Figura 2. Mapa Pedológico dos Municípios de Natal, São Gonçalo do Amarante e Serra Caiada (RN), que Abrigam Lixões Desativados, em Relação à Bacia do Rio Potengi.



Figura 3. Análise de Componentes Principais (PCA) das propriedades do solo em lixões desativados no Rio Grande do Norte, Brasil.



Tabela 1. Tabela de atributos físicos e químicos dos solos em lixões desativados no Rio Grande do Norte, Brasil.

CÓDIGO: ET1508

AUTOR: AMANDA VITORIA LOPES DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: MARIANA RODRIGUES DE ALMEIDA

TÍTULO: Desafios e perspectivas na implementação do programa GLOBE em escolas públicas do Rio Grande do Norte: uma revisão bibliográfica e análise dos protocolos subutilizados

Resumo

Este estudo explora a implementação do Programa GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment) em escolas públicas do Rio Grande do Norte como parte do projeto Meninas no Espaço, que visa incentivar a participação de meninas na ciência. O GLOBE é uma iniciativa internacional que promove a educação ambiental por meio da coleta de dados e observações científicas conduzidas por estudantes, contribuindo para a conscientização ecológica e o desenvolvimento de habilidades científicas.

A pesquisa utilizou a metodologia PRISMA RSL para selecionar e analisar publicações científicas relevantes, identificando os principais protocolos do GLOBE abordados na literatura e os desafios enfrentados na implementação desses protocolos em contextos similares. A análise inicial começou com 74 publicações, sendo reduzida para 24 consideradas relevantes para uma revisão aprofundada, com base nos critérios do estudo.

O projeto Meninas no Espaço, alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente o ODS 4 (Educação de Qualidade) e o ODS 5 (Igualdade de Gênero), busca abordar as disparidades de gênero na educação científica, oferecendo oportunidades direcionadas para que meninas se envolvam em investigações científicas. O projeto conseguiu criar um ambiente inclusivo que incentiva as meninas a seguir carreiras nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM).

Palavras-chave: Programa Globe. Setor Aeroespacial. STEAM. Políticas Públicas.

TITLE: Challenges and Perspectives in the Implementation of the GLOBE Program in Public Schools of Rio Grande do Norte: A Literature Review and Analysis of Underutilized Protocols

Abstract

This study explores the implementation of the GLOBE Program (Global Learning and Observations to Benefit the Environment) in public schools in Rio Grande do Norte as part of the Meninas no Espaço project, aimed at encouraging girls to participate in science. GLOBE is an international initiative that fosters environmental education through student-led data collection and scientific observations, contributing to ecological awareness and the development of scientific skills.

The research employed the PRISMA RSL methodology to select and analyze relevant scientific publications, identifying key GLOBE protocols addressed in the literature and the challenges faced in implementing them in similar contexts. The initial analysis started with 74 publications, narrowing down to 24 that were deemed relevant for in-depth review based on the study's criteria.

The Meninas no Espaço project, aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 4 (Quality Education) and SDG 5 (Gender Equality), seeks to address gender disparities in science education by providing targeted opportunities for girls to engage in scientific inquiry. The project has successfully created an inclusive environment that encourages girls to pursue science, technology, engineering, and mathematics (STEM) fields.

Keywords: Globe Program. Aerospace Sector. STEAM. Public policy.

Introdução

O Programa Global Learning and Observations to Benefit the Environment (GLOBE) é uma iniciativa internacional fundamental que busca promover a educação ambiental e a conscientização sobre questões climáticas e ambientais por meio da prática científica. Lançado em 1995 pela NASA em colaboração com o Departamento de Estado dos EUA, o GLOBE visa engajar estudantes em atividades práticas de coleta e análise de dados ambientais, integrando conceitos teóricos com aplicações reais e estimulando uma compreensão mais profunda dos sistemas naturais e suas interações (NASA, 2023).

A importância do GLOBE é evidente em sua abordagem educacional inovadora, que

combina ciência, tecnologia e educação ambiental. O programa permite que estudantes e professores ao redor do mundo colem dados sobre a atmosfera, a qualidade da água, o solo e a vegetação, criando uma base global de informações que contribui para uma compreensão mais completa das mudanças ambientais. Ao conectar a teoria científica com a prática, o GLOBE promove habilidades essenciais, como: pensamento crítico, resolução de problemas e engajamento com questões ambientais, preparando os alunos para enfrentar desafios complexos e tomar decisões informadas.

No Brasil, a adoção do Programa GLOBE está em expansão, com esforços significativos para integrar a educação ambiental ao currículo escolar em várias regiões. No entanto, a implementação do programa em escolas públicas enfrenta desafios específicos que precisam ser compreendidos e superados para garantir sua eficácia e sustentabilidade. Este artigo visa explorar esses desafios, fornecendo uma análise detalhada das barreiras enfrentadas na implementação do GLOBE em escolas públicas dessa região, e oferecer sugestões para melhorar a sua eficácia e alcance.

O alinhamento do GLOBE com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) é um aspecto central de sua implementação. Em particular, o programa se relaciona com o ODS 4, que busca garantir uma educação inclusiva e equitativa de qualidade, e o ODS 13, que promove a ação urgente para combater as mudanças climáticas e seus impactos. O GLOBE não apenas contribui para a formação de cidadãos conscientes e informados sobre questões ambientais, mas também apoia a criação de uma base sólida para a educação sustentável e a ação ambiental global.

O projeto "Meninas no Espaço", que está atualmente em sua segunda edição, surge como uma iniciativa estratégica no contexto da implementação do GLOBE no Rio Grande do Norte. Este projeto visa estimular o interesse de meninas nas ciências e tecnologias espaciais, abordando as disparidades de gênero em campos tradicionalmente dominados por homens. Alinhado com o ODS 5, que promove a igualdade de gênero, o projeto busca criar oportunidades educativas que empoderem as alunas e incentivem sua participação ativa nas áreas STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática). Ao proporcionar atividades práticas e interativas, o "Meninas no Espaço" oferece estrutura para o desenvolvimento de habilidades técnicas e científicas, ao mesmo tempo em que desafia estereótipos de gênero e promove a inclusão.

No entanto, a implementação bem-sucedida de programas como o GLOBE enfrenta desafios, incluindo a falta de infraestrutura adequada, o suporte institucional limitado e a necessidade de capacitação contínua para os professores. Este trabalho se propõe a explorar as principais barreiras para a implementação do Programa GLOBE em escolas públicas do Rio Grande do Norte, identificando os desafios específicos enfrentados na região e oferecendo sugestões para superar esses obstáculos. Através da revisão da literatura e da análise dos protocolos menos utilizados, buscamos fornecer uma visão abrangente dos desafios e propor estratégias para melhorar a eficácia e a sustentabilidade do programa.

Metodologia

O presente trabalho tem como objetivo examinar as barreiras enfrentadas na implementação do Programa Global Learning and Observations to Benefit the Environment (GLOBE) em escolas públicas do Rio Grande do Norte e oferecer recomendações práticas para a superação desses desafios. A metodologia adotada é composta por quatro fases principais, conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura 1: (F1) revisão da literatura; (F2) análise dos protocolos do GLOBE; (F3) identificação das barreiras específicas; e (F4) formulação de recomendações.

Cada fase é descrita em detalhes a seguir, fornecendo uma visão abrangente e estruturada do processo metodológico adotado.

A primeira etapa (F1) envolveu uma revisão abrangente da literatura existente sobre o Programa GLOBE e sua implementação em diversos contextos. Esta fase compreendeu a análise de estudos acadêmicos, relatórios institucionais e artigos relevantes para a compreensão dos fundamentos teóricos e das práticas associadas ao programa. A revisão visou identificar os protocolos do GLOBE e suas aplicações, bem como as melhores práticas e desafios relatados em implementações anteriores. Esta etapa estabeleceu uma base teórica sólida, proporcionando um entendimento crítico do programa e suas implicações para a educação ambiental.

A segunda fase (F2) concentrou-se na análise detalhada dos protocolos científicos oferecidos pelo Programa GLOBE. Foram examinados os diferentes protocolos disponíveis para a coleta de dados ambientais, com foco particular naqueles que apresentaram menor taxa de utilização nas escolas. A análise considerou aspectos como a complexidade dos protocolos, a disponibilidade de recursos necessários e o treinamento exigido para a sua implementação eficaz. Esta fase foi essencial para identificar quais protocolos foram subutilizados e as razões subjacentes a essa situação, fornecendo insights para melhorar a adoção e a aplicação prática dos mesmos.

Na terceira fase (F3), foi realizado um levantamento das barreiras específicas enfrentadas na implementação do Programa GLOBE em escolas públicas do Rio Grande do Norte. Utilizando métodos qualitativos e quantitativos, foram coletados dados por meio de entrevistas com gestores escolares, questionários direcionados a professores e análise de dados secundários disponíveis. A identificação e análise dessas barreiras incluíram aspectos como infraestrutura inadequada, insuficiência de capacitação docente e desafios relacionados ao engajamento dos alunos. Esta fase visou mapear de forma sistemática as dificuldades encontradas e avaliar seu impacto na eficácia do programa.

A fase final consistiu na elaboração de recomendações práticas (F4) com base nas análises realizadas nas fases anteriores. As sugestões foram formuladas para abordar as barreiras identificadas e aprimorar a implementação do Programa GLOBE nas escolas públicas. As recomendações visaram otimizar o uso dos protocolos do programa, promover maior conscientização ambiental e aumentar o engajamento dos alunos. As propostas foram desenvolvidas com base em soluções viáveis e adaptadas às condições específicas do contexto local, proporcionando diretrizes práticas para fortalecer a iniciativa e assegurar sua sustentabilidade, servindo como base para a execução das próximas fases do projeto.

A metodologia adotada para a realização deste trabalho foi cuidadosamente estruturada em seis etapas principais (Figura 2), cada uma delas projetada para abordar de forma abrangente e sistemática os objetivos da pesquisa. Essas etapas foram elaboradas para garantir uma análise rigorosa e detalhada dos desafios e oportunidades associados à implementação do Programa Global Learning and Observations to Benefit the Environment (GLOBE) nas escolas públicas do Rio Grande do Norte.

Frente ao exposto, detalha-se as fases da metodologia adotada para a realização deste estudo:

A primeira etapa consistiu na identificação e seleção criteriosa de publicações acadêmicas e fontes relevantes relacionadas ao Programa GLOBE. Esse processo envolveu uma revisão extensiva de literatura científica, relatórios institucionais e outros documentos pertinentes que abordam a implementação e os protocolos do programa. A seleção foi classificada por critérios de relevância, qualidade e atualidade das informações, assegurando uma base sólida e confiável para as análises subsequentes.

Na segunda etapa, as publicações selecionadas foram submetidas a uma leitura detalhada e crítica. Essa fase obteve como objetivo extrair informações essenciais sobre os protocolos do GLOBE, as práticas de implementação observadas em diferentes contextos e os desafios enfrentados. A análise aprofundada das publicações permitiu a identificação de padrões, lacunas e áreas que requeriam investigação adicional.

A terceira etapa envolveu a construção e a atualização de uma planilha de análise sistemática. Esta ferramenta foi projetada para organizar e sintetizar as informações coletadas de maneira estruturada. A planilha incluiu categorias específicas para classificar os protocolos do GLOBE, a frequência de sua utilização e os desafios associados. A utilização desta ferramenta facilitou a análise comparativa e a organização dos dados, promovendo uma visão clara e estruturada das informações.

A quarta etapa foi dedicada à análise detalhada dos protocolos do GLOBE que apresentaram menor taxa de utilização. Na quinta etapa, foi realizado um levantamento abrangente das barreiras específicas encontradas na implementação do Programa GLOBE em escolas públicas do Rio Grande do Norte. O objetivo foi mapear e compreender as dificuldades enfrentadas, bem como avaliar seu impacto na eficácia do programa.

A sexta etapa consistiu na discussão crítica dos resultados obtidos nas fases anteriores. Os dados foram analisados à luz dos desafios identificados e das melhores práticas documentadas na literatura.

Resultados e Discussões

A primeira etapa da pesquisa concentrou-se na seleção metódica de publicações científicas sobre o Programa GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment). O objetivo principal desta fase foi estabelecer uma base sólida de evidências e informações relevantes para a análise dos protocolos e a eficácia do

programa. A seleção das publicações envolveu uma abordagem sistemática e rigorosa, com o uso de ferramentas e métodos avançados para garantir a inclusão de fontes de alta qualidade e a exclusão de materiais não pertinentes.

Para iniciar o processo de seleção, foram definidos critérios claros de inclusão e exclusão das publicações. Esses critérios foram estabelecidos com base nos objetivos do projeto e na necessidade de focar em estudos que abordassem os protocolos específicos do Programa GLOBE e sua aplicação prática. O critério de inclusão foi selecionar publicações que discutam ou analisem o Programa GLOBE em detalhes, com ênfase nos protocolos e metodologias empregadas. Em contrapartida, os critérios de exclusão foram definidos para eliminar publicações que não atendiam aos objetivos da revisão ou que não forneciam informações úteis para a análise: Publicações que mencionam o Programa GLOBE de forma superficial, sem uma análise detalhada dos protocolos ou metodologias; Artigos que não estão disponíveis em formato completo ou cujos textos não podem ser acessados para análise; Estudos que abordam o Programa GLOBE de forma tangencial, sem conexão direta com os protocolos específicos ou com a implementação prática do programa; Publicações que apareceram na pesquisa inicial, mas não tem relação com o Programa Globe.

A busca inicial foi realizada no banco de dados Scopus, um dos mais abrangentes e respeitados repositórios de literatura acadêmica. Utilizou-se o termo de busca "Globe Program" para identificar publicações relevantes. O uso do Scopus permitiu acessar um conjunto de dados e garantiu a inclusão de artigos de alta qualidade e relevância para a pesquisa.

A pesquisa inicial resultou em 74 publicações que mencionavam o Programa GLOBE. Com base nos critérios estabelecidos, foi realizada uma triagem preliminar para filtrar os artigos. Durante essa triagem, 16 publicações foram descartadas por não apresentarem uma relação direta com o Programa GLOBE. Essas publicações incluíam trabalhos que mencionavam o termo "GLOBE" de forma geral ou em contextos não relacionados aos protocolos do programa.

Adicionalmente, 34 publicações foram removidas da análise por apresentarem relação com o Programa GLOBE, mas sem abordar os protocolos específicos ou por estarem indisponíveis para análise completa. Essa etapa de filtragem foi necessária para assegurar que as publicações selecionadas fossem pertinentes e oferecessem insights significativos para o projeto.

Para garantir a transparência e a reprodutibilidade do processo de seleção, foi aplicado o método PRISMA RSL (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). O PRISMA RSL é uma abordagem reconhecida para a realização de revisões sistemáticas e meta-análises, que oferece um fluxo estruturado para a seleção e análise de estudos no desenvolvimento de revisões sistemáticas.

O PRISMA RSL facilitou a organização das etapas da seleção das publicações e forneceu uma estrutura clara para documentar as decisões tomadas durante o processo de seleção. A metodologia PRISMA incluiu a elaboração de um diagrama de fluxo que visualiza as diferentes etapas de inclusão e exclusão das publicações, desde a busca

inicial até a seleção final das publicações. Esse diagrama (Figura 3) serviu como uma ferramenta para assegurar a consistência e a precisão na seleção das publicações.

O uso do PRISMA RSL também permitiu a documentação detalhada dos critérios de inclusão e exclusão, bem como das razões para a remoção de publicações. Esse nível de detalhe é essencial para garantir a qualidade e a integridade da revisão, proporcionando uma base sólida para a análise dos protocolos do Programa GLOBE.

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão e a utilização do método PRISMA RSL, foram selecionadas 24 publicações relevantes para a análise detalhada. Essas publicações foram examinadas minuciosamente para identificar informações sobre quais os protocolos do Programa GLOBE e suas aplicações práticas estão sendo desenvolvidas nos artigos científicos.

A análise das publicações selecionadas incluiu uma revisão dos seguintes aspectos: (1) Metodologias e protocolos utilizados no Programa GLOBE, conforme descrito nos artigos; (2) Resultados e conclusões dos estudos, com ênfase na eficácia dos protocolos e na aplicação prática do programa. Discussões sobre os desafios enfrentados na implementação dos protocolos e as estratégias adotadas para superá-los. Essa análise detalhada forneceu uma visão abrangente sobre os protocolos do Programa GLOBE e suas aplicações, permitindo uma compreensão dos aspectos críticos e das melhores práticas associadas ao programa.

Os resultados da Etapa 1 foram fundamentais para estabelecer uma base sólida para as fases subsequentes do projeto. A seleção criteriosa das publicações garantiu a inclusão de estudos relevantes e de alta qualidade, proporcionando uma visão abrangente dos protocolos do Programa GLOBE e suas aplicações. A utilização do método PRISMA RSL foi essencial para assegurar a transparência e a rigorosidade da seleção das publicações. A documentação sistemática das etapas e dos critérios de seleção contribuiu para a integridade e a confiabilidade da revisão.

A Etapa 2 do projeto foi necessária para a compreensão aprofundada do Programa GLOBE, uma vez que envolveu a leitura e análise detalhada das 24 publicações selecionadas na Etapa 1. Esta fase obteve como objetivo explorar e interpretar as informações contidas nas publicações, a fim de identificar sobre quais os protocolos do programa e sua aplicação prática. A leitura meticulosa e a análise crítica das publicações foram fundamentais para formar uma base sólida para as etapas subsequentes do projeto.

A leitura das publicações foi realizada em duas fases principais. A fase de leitura inicial envolveu uma leitura preliminar de cada publicação para identificar rapidamente os pontos principais, como objetivos do estudo, metodologia e conclusões gerais. A leitura inicial permitiu uma visão geral do conteúdo e ajudou a classificar as publicações com base em sua relevância para os protocolos do Programa GLOBE. Após a leitura inicial, foi realizada uma leitura mais aprofundada para compreender os detalhes e nuances das publicações. Nesta fase, foram analisados aspectos específicos dos protocolos do Programa GLOBE, incluindo a descrição dos métodos utilizados, a eficácia dos protocolos e os desafios encontrados na implementação. A leitura detalhada também

focou na identificação de padrões e temas recorrentes, bem como nas lacunas de pesquisa e nas áreas que necessitam de mais investigação.

Na Etapa 3, foi realizada uma análise detalhada dos protocolos do Programa GLOBE abordados nas publicações selecionadas. Uma planilha foi desenvolvida para registrar e sistematizar as informações dos protocolos descritos nas publicações. Esta planilha permitiu a identificação dos protocolos do GLOBE abordados em cada estudo e a sua classificação conforme as esferas do programa (Atmosfera, Biosfera, Hidrosfera e Pedosfera).

Em seguida, cada publicação foi analisada para determinar quais protocolos do GLOBE estavam sendo utilizados ou discutidos. Os protocolos foram então categorizados com base em sua esfera correspondente e a frequência da quantidade de vezes que foram abordados. Por fim, os dados coletados foram organizados na Figura 4, detalhando a quantidade de publicações que abordam cada protocolo específico.

A quarta etapa do estudo foi dedicada à análise detalhada dos protocolos do Programa GLOBE que apresentaram uma menor taxa de utilização na literatura científica. Com o objetivo de identificar quais protocolos receberam menos atenção e entender as possíveis razões por trás dessa menor cobertura, foram avaliados os dados coletados sobre o número de publicações para cada protocolo nas esferas do Programa GLOBE.

Para essa análise, foi realizada uma análise detalhada dos protocolos do Programa GLOBE que apresentaram menor frequência de publicação. O objetivo desta análise foi identificar quais protocolos receberam menos atenção na literatura científica, e os resultados revelaram uma distribuição variada no número de publicações entre os diferentes protocolos.

Na esfera Atmosfera, o protocolo Nuvens se destaca com o maior número de estudos, totalizando 7 publicações. Seguem-se Aerossóis com 5 publicações e Temperatura do ar com 4. Em contraste, Pressão barométrica foi abordada em apenas 1 publicação, e Temperatura da superfície em 2 publicações, indicando uma menor atenção a esses aspectos específicos.

Na esfera Biosfera, Cobertura do solo e Altura das árvores são os protocolos mais discutidos, refletindo o foco nas mudanças na vegetação. Jardins fenológicos também recebeu atenção, com um total de 2 publicações. No entanto, Green-Up, Green-Down e Ciclo de Carbono receberam menor cobertura, sugerindo que esses temas podem precisar de mais exploração dessa esfera.

Para a esfera Hidrosfera, o Mapeador de habitat de mosquitos lidera com 4 publicações, indicando a relevância desse indicador. Protocolos como: Alcalinidade, Oxigênio dissolvido, Nitratos, pH, Temperatura da água e Transparência da água foram abordados em 3 publicações cada. Em contrapartida, Macroinvertebrados de água doce não apresentou nenhuma publicação dedicada, e Condutividade e Salinidade receberam apenas 2 publicações, evidenciando áreas que poderiam ser mais exploradas.

Na esfera Pedosfera, há uma clara evidência de falta de foco em vários protocolos. Transparência do solo, Tubo de gelo, Distribuição de tamanho de partícula, Densidade

do solo, Fertilidade do solo e pH do solo não foram abordados em nenhuma publicação, sugerindo uma área com grande potencial para futuras pesquisas. Protocolos como Profundidades inferiores do horizonte e Número do horizonte em profundidade também receberam pouca atenção, embora alguns estudos tenham se concentrado em Medições de campo e Umidade do solo.

Esses dados evidenciam não apenas as áreas de maior interesse dentro do Programa GLOBE, mas também as lacunas existentes na pesquisa. Eles oferecem uma visão detalhada das prioridades atuais e apontam para novas oportunidades significativas de exploração e aprofundamento em áreas menos investigadas de pesquisa.

A quinta etapa deste estudo envolveu um levantamento detalhado para identificar e analisar as barreiras específicas encontradas na implementação do Programa GLOBE em escolas públicas do Rio Grande do Norte (Figura 5). O objetivo principal foi mapear as dificuldades enfrentadas pelas instituições de ensino e avaliar o impacto dessas dificuldades na eficácia do programa. Essa análise é fundamental para compreender os desafios enfrentados e para propor soluções que possam melhorar a implementação e a continuidade do Programa GLOBE.

Uma das barreiras mais evidentes identificadas durante a análise é a falta de equipamentos adequados nas escolas. A infraestrutura das escolas públicas do Rio Grande do Norte frequentemente não está equipada para atender às exigências tecnológicas e práticas do Programa GLOBE. Os protocolos do programa muitas vezes requerem equipamentos específicos, como sensores ambientais, kits de medição e outros dispositivos científicos que não estão disponíveis em muitas escolas.

A ausência desses equipamentos compromete a capacidade das escolas de realizar medições precisas e de seguir os procedimentos do programa com a qualidade necessária. Sem os equipamentos adequados, as atividades práticas, que são essenciais para a realização dos protocolos do Programa GLOBE, ficam comprometidas. A falta de equipamentos não apenas limita a realização dos experimentos, mas também afeta a capacidade dos alunos de aprender de forma prática e interativa, o que pode reduzir o impacto educacional do programa.

Outro desafio significativo relacionado à infraestrutura é a conectividade limitada nas escolas. O Programa GLOBE depende fortemente de recursos online, como plataformas de dados e ferramentas educacionais digitais, que requerem uma conexão estável à internet. Muitas escolas públicas enfrentam problemas com a conectividade, o que dificulta o acesso a essas ferramentas e a participação efetiva no programa.

A conectividade limitada não apenas impede o acesso aos recursos necessários para implementar os protocolos, mas também afeta a capacidade dos alunos e professores de se conectarem com a comunidade global do Programa GLOBE. A comunicação e o compartilhamento de dados com outras escolas e com a rede global do programa são aspectos importantes da experiência GLOBE, e a falta de conectividade pode isolar as escolas e limitar as oportunidades de colaboração e aprendizado.

A capacitação dos educadores é um componente importante para a implementação bem-sucedida do Programa GLOBE. Foi identificado que muitas escolas enfrentam desafios

significativos devido ao treinamento insuficiente dos professores e demais potenciais envolvidos na implementação do programa. Sem um treinamento adequado, os educadores podem ter dificuldades em compreender e aplicar os protocolos do programa de maneira eficaz, por isso, é importante a atuação do projeto na capacitação desses participantes.

O treinamento insuficiente pode levar a uma má execução dos protocolos, o que compromete a coleta de dados e a qualidade das atividades realizadas. Além disso, a falta de capacitação pode reduzir a confiança dos educadores na implementação do programa e na utilização dos recursos disponíveis. Programas de treinamento robustos e contínuos são necessários para garantir que os educadores estejam bem preparados para ensinar e aplicar os protocolos do Programa GLOBE de forma eficiente.

A escassez de recursos educacionais também é uma barreira significativa para a implementação do Programa GLOBE. Recursos educacionais especializados, como materiais didáticos, guias de atividades e kits de laboratório, são essenciais para a execução dos protocolos e para o ensino efetivo dos conceitos científicos abordados pelo programa. Muitas escolas públicas enfrentam uma falta desses recursos, o que pode dificultar a aplicação prática dos protocolos e limitar o aprendizado dos alunos.

A disponibilidade de recursos educacionais é fundamental para o sucesso do programa. Sem materiais adequados, os educadores podem ter dificuldade em realizar atividades práticas e interativas que são essenciais para a experiência GLOBE. A falta de recursos também pode afetar a motivação dos alunos e a eficácia do ensino, reduzindo o impacto educacional do programa.

A sustentabilidade do Programa GLOBE nas escolas públicas do Rio Grande do Norte é um desafio significativo. A necessidade de financiamento para a execução das atividades do programa foi identificada como uma barreira importante. A implementação e manutenção do programa exigem recursos financeiros para a aquisição de equipamentos, materiais educativos e para o suporte contínuo das atividades.

Sem um financiamento adequado, muitas escolas enfrentam dificuldades para cobrir os custos associados à implementação do programa. A falta de recursos financeiros pode limitar a capacidade das escolas de realizar as atividades propostas, de adquirir equipamentos e materiais necessários e de manter a continuidade do programa a longo prazo. Garantir um suporte financeiro consistente é imprescindível para a sustentabilidade do Programa GLOBE e para garantir que as escolas possam participar plenamente e beneficiar-se do programa.

A tecnologia desempenha um papel vital na implementação do Programa GLOBE, e a falta de softwares especializados foi identificada como uma barreira significativa. O Programa GLOBE utiliza várias ferramentas digitais e softwares para a coleta e análise de dados, bem como para a comunicação e colaboração entre escolas e com a comunidade global do programa. A ausência desses softwares especializados pode afetar a capacidade das escolas de utilizar e implementar os protocolos do programa de forma eficaz.

Sem os softwares apropriados, as escolas podem ter dificuldade em gerenciar e analisar os dados coletados, o que pode comprometer a qualidade das atividades e a participação no programa. Além disso, a falta de tecnologia especializada pode limitar a capacidade das escolas de se conectar com a rede global do Programa GLOBE e de aproveitar as oportunidades de colaboração e aprendizado.

A sistematização das barreiras à implementação do Programa GLOBE em escolas públicas do Rio Grande do Norte revelou desafios significativos em várias áreas. A falta de equipamentos e conectividade limitada afeta a infraestrutura das escolas, enquanto a capacitação insuficiente e a escassez de recursos educacionais comprometem a qualidade do ensino. A necessidade de financiamento para a sustentabilidade do programa e a falta de softwares especializados também são barreiras importantes que precisam ser abordadas.

Para superar essas dificuldades, é essencial desenvolver estratégias e soluções que possam melhorar a infraestrutura, fortalecer a capacitação dos educadores, garantir recursos adequados e assegurar o suporte financeiro necessário. A implementação bem-sucedida do Programa GLOBE nas escolas públicas do Rio Grande do Norte depende da superação dessas barreiras e do compromisso com a melhoria contínua. Com uma abordagem abrangente e soluções eficazes, é possível maximizar o impacto do programa e proporcionar uma experiência educativa enriquecedora para os alunos.

Na sexta etapa deste estudo, foi realizada uma discussão detalhada dos resultados obtidos ao longo das fases anteriores, com foco na avaliação crítica do Programa GLOBE nas escolas públicas do Rio Grande do Norte. Esta etapa foi essencial para interpretar os dados coletados, compreender o impacto do programa e fornecer recomendações para futuras melhorias.

Os resultados das fases anteriores foram minuciosamente comparados com os objetivos e metas estabelecidos para o Programa GLOBE. A análise revelou que, embora o programa tenha alcançado sucesso em várias áreas, também houve desafios significativos que impactaram sua implementação e eficácia.

A discussão também incluiu uma avaliação do impacto do Programa GLOBE na promoção da educação ambiental e na conscientização dos alunos sobre questões ambientais. A participação dos alunos em atividades práticas, como medições e análises de dados, tem grande potencial para engajar os estudantes e fomentar um interesse mais profundo nas questões ambientais.

No entanto, o impacto positivo do programa é parcialmente limitado pelas barreiras identificadas, como a falta de equipamentos e a conectividade limitada. Essas dificuldades têm o potencial de reduzir a eficácia das atividades e a profundidade do aprendizado. A capacidade do programa de promover uma educação ambiental robusta é, portanto, afetada por esses desafios, o que destaca a necessidade de soluções para superar as barreiras e melhorar a experiência educacional.

Conclusão

O Programa GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment) representa uma iniciativa inovadora e global voltada para a promoção da educação ambiental e da conscientização sobre questões ecológicas. Este estudo obteve como objetivo explorar e analisar a implementação do Programa GLOBE em escolas públicas do Rio Grande do Norte, destacando os protocolos do programa, suas aplicações práticas e as barreiras encontradas na sua implementação. Ao longo das diversas etapas da pesquisa, foram obtidos resultados significativos que oferecem insights valiosos sobre a eficácia do programa e as áreas que necessitam de aprimoramento. Nesta seção, serão discutidos os principais achados da pesquisa, suas implicações para a educação ambiental e sugestões para futuras investigações na área.

A pesquisa inicial envolveu a seleção e análise de publicações científicas relevantes sobre o Programa GLOBE, com o intuito de estabelecer uma base sólida de evidências e informações. Utilizando a metodologia PRISMA RSL para garantir a transparência e a rigorosidade, foram filtradas 74 publicações, resultando na seleção de 24 artigos que abordavam detalhadamente os protocolos e metodologias do programa. Esses estudos forneceram uma visão abrangente sobre os protocolos do GLOBE e suas aplicações práticas em diferentes contextos.

A análise das publicações revelou que, apesar do sucesso do programa em várias esferas, existem lacunas significativas na cobertura dos protocolos. Na esfera Atmosfera, os protocolos relacionados a Nuvens e Aerossóis receberam ampla atenção, enquanto aspectos como Pressão barométrica e Temperatura da superfície foram abordados em menor quantidade. Na esfera Biosfera, os protocolos de Cobertura do solo e Altura das árvores foram os mais discutidos, mas protocolos como Green-Up e Ciclo de Carbono foram menos explorados. Similarmente, na esfera Hidrosfera, o Mapeador de habitat de mosquitos teve maior destaque, enquanto Macroinvertebrados de água doce recebeu pouca atenção. Por último, na esfera Pedosfera, a falta de estudos sobre vários protocolos indica uma área com grande potencial para futuras pesquisas.

Além da análise dos protocolos, o estudo identificou barreiras específicas à implementação do Programa GLOBE nas escolas públicas do Rio Grande do Norte. As principais dificuldades encontradas incluem a falta de equipamentos adequados, conectividade limitada, capacitação insuficiente dos educadores, escassez de recursos educacionais, desafios financeiros e ausência de softwares especializados. Essas barreiras comprometem a eficácia do programa e destacam a necessidade de abordagens para superar essas limitações. Os resultados da pesquisa têm importantes implicações para a educação ambiental e a implementação de programas similares em contextos semelhantes.

Referências

NASA. GLOBE. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/get-involved/globe/>>. Acesso em 27. ago. 2024.

BROOKS, D. R.; MIMS III, F. M. Development of an inexpensive handheld LED-based Sun photometer for the GLOBE program. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, v. 106, n. D5, p. 4733-4740, 2001.

WEGNER, K.; MURPHY, T.; WIGBELS, L.; HENRY, K. The Globe Zika education and prevention project. *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC*, 2019.

RUSCHER, P. H.; LUSHER, W. R. The Florida GLOBE partnership program. *Bulletin of the American Meteorological Society*, p. 5743-5744, 2004.

CHIKANDO, E.; PIEPMEIER, J. R.; LEVINE, E.; WHITE, C. Handheld L-band microwave radiometer. *2006 IEEE MicroRad Proceedings - 9th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications, MicroRad'06*, p. 55-59, 2006.

LANDENBERGER, R. E.; WARNER, T. A.; ENSIGN, T. I.; NELLIS, M. D. Using remote sensing and GIS to teach inquiry-based spatial thinking skills: An example using the GLOBE program's integrated earth systems science. *Geocarto International*, v. 21, n. 3, p. 61-71, 2006.

WHITAKER, M. P. L.; FERRÉ, T. P. A.; NIJSSEN, B.; WASHBURN, J. Design and testing of a low-cost soil-drying oven. *Vadose Zone Journal*, v. 5, n. 3, p. 856-859, 2006.

BROOKS, D. R.; NIEPOLD, F.; D'EMILIO, G.; GLIST, J.; HATTERSCHEID, G.; MARTIN, S.; DEDE, K.; NEUMANN, I. Scientist-teacher-student partnerships for aerosol optical thickness measurements in support of ground validation programs for remote sensing spacecraft. *54th International Astronautical Congress of the International Astronautical Federation (IAF), the International Academy of Astronautics and the International Institute of Space Law*, v. 2, p. 3199-3206, 2003.

HAYDEN, L.; TAYLOR, J.; COLON ROBLES, M. GLOBE: Connecting to community of observers directly to NASA Satellites. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, v. 7, n. 1, p. 98-99, 2019.

MELKONIAN, J.; RIHA, S. J.; ROBIN, J.; LEVINE, E. Comparisons of measured stream flow with drainage and runoff simulated by a soil-vegetation-atmosphere transport model parameterized with GLOBE student data. *Journal of Hydrology*, v. 333, n. 2-4, p. 214-225, 2007.

HAYDEN, L. B.; WALTHALL, S.; HARRIS, G.; HATHAWAY, W.; WOOD, J.; HATHAWAY, J. Continuing Education Units (CEUS) for NASA's Global Learning and Observations to Benefit the Environment (GLOBE) World Wide Program. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, p. 3169-3171, 2020.

WITTER, J. D.; SPONGBERG, A. L.; CZAJKOWSKI, K. P. Diurnal soil temperature effects within the GLOBE® program dataset. *Journal of Geography*, v. 106, n. 1, p. 13-19, 2007.

MCLAUGHLIN, J. W.; HENDERSON, S. Applying GLOBE measurements and resources to the study of marine environments. *Proceedings of MTS/IEEE OCEANS*, 2005, p. 2621-2624, 2005.

ROBLES, M. C.; AMOS, H. M.; BRANT DODSON, J.; BOUWMAN, J.; ROGERSON, T.; BOMBOSCH, A.; FARMER, L.; BURDICK, A.; TAYLOR, J.; CHAMBERS, L. H. Clouds around the world: How a simple citizen science data challenge became a worldwide success. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 101, n. 7, p. E1201-E1213, 2020.

GAZAL, R.; WHITE, M.A.; GILLIES, R.; RODAMAKER, E.; SPARROW, E.; GORDON, L. GLOBE students, teachers, and scientists demonstrate variable differences between urban and rural leaf phenology. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, n. 8, p. 1046-1054, 2011.

LOW, R.; BOGER, R.; NELSON, P.; KIMURA, M. GLOBE Mosquito Habitat Mapper Citizen Science Data 2017–2020. *Earth and Space Science*, v. 8, n. 3, 2021.

CAMPBELL, B.A. ICESat-2 and the Trees Around the GLOBE student research campaign: Looking at Earth's tree height, one tree at a time. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 95, p. 102276, 2021.

TOLEDO, F.; GARRIDO, C.; DÍAZ, M.; RONDANELLI, R.; JORQUERA, S.; VALDIVIESO, P. AOT Retrieval Procedure for Distributed Measurements With Low-Cost Sun Photometers. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 13, p. 4395-4402, 2020.

BOURGEAULT, J.L.; CONGALTON, R.G.; BECKER, M.L. GLOBE MUC-ATHON: A method for effective student land cover data collection. *Journal of Geography*, v. 117, n. 1, p. 16-26, 2018.

GRČIĆ, M.; MILKOVIĆ, J. Determination of the effect of aerosols on direct solar radiation within the globe program. *International Journal of Environment and Pollution*, v. 50, n. 1-4, p. 168-179, 2012.

ROGERS, M.; VANE, D. The CloudSat Education Network: Scientifically significant collaborative research between students and scientists. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1929-1934, 2012.

LOW, R.D.; SCHWERIN, T.G.; BOGER, R.A.; SOEFFING, C.; NELSON, P.V.; BARTLETT, D.; INGLE, P.; KIMURA, M.; CLARK, A. Building International Capacity for Citizen Scientist Engagement in Mosquito Surveillance and Mitigation: The GLOBE Program's GLOBE Observer Mosquito Habitat Mapper. *Earth and Space Science*, v. 7, n. 8, 2020.

WEIR, A. Using the internet with GLOBE for environmental education. Educational Technology Research and Development, v. 50, n. 3, p. 43-53, 2002.

ENTERKINE, J.; CAMPBELL, B.A.; KOHL, H.; GLENN, N.F.; WEAVER, K.; OVEROYE, D.; DANKE, D. The potential of citizen science data to complement satellite and airborne lidar tree height measurements: Lessons from the GLOBE Program. Remote Sensing, v. 12, n. 21, 2020.

CAMPBELL, B.A. ICESAT-2 and the trees around the Globe student research campaign: Looking at Earth's tree height, one tree at a time. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 95, p. 102276, 2021.

Anexos



Figura 1 - Fases do método de pesquisa



Figura 2 - Etapas do método de pesquisa



Figura 3 - Prisma RSL



Figura 4.1 - Quantidade de publicações por protocolo na esfera Atmosfera



Figura 4.2 - Quantidade de publicações por protocolo na esfera Biosfera



Figura 4.3 - Quantidade de publicações por protocolo na esfera Hidrosfera



Figura 4.4 - Quantidade de publicações por protocolo na esfera Pedosfera



Figura 5 - Barreiras para a implementação do GLOBE

CÓDIGO: ET1509

AUTOR: CRISLAINE BEATRIZ GUEDES DA SILVA

ORIENTADOR: THERCIO HENRIQUE DE CARVALHO COSTA

TÍTULO: Análise da atividade fotocatalítica e adsorção de nanopartículas de CuS sintetizadas por via química para degradação de contaminantes orgânicos

Resumo

O tratamento de resíduos líquidos de resíduos industriais e domésticos é urgentemente demandado. Para este fim, a atividade fotocatalítica de semicondutores é promissora para a degradação de contaminantes orgânicos. Nanopartículas de CuS foram sintetizadas por rota química a partir de soluções de tiourea e sulfato de cobre em diferentes concentrações para avaliar sua composição química, estrutura e comportamento óptico-elétrico usando técnicas de XRD, espectroscopia RAMAN, SEM-EDS e reflectância difusa. A degradação do contaminante orgânico (azul de metileno) mostrou resultados promissores, como explicado pela adsorção e fotocatalise sob condições de baixa potência de luz visível (10 W), sem uso de H₂O₂ e baixa concentração de catalisador. As amostras com baixo teor de sulfato apresentaram aproximadamente 78% de degradação, enquanto aquelas com 0,20 M de Tiourea e 0,15 - 0,20 M de Sulfato apresentaram 99% de degradação.

Palavras-chave: Semicondutores, CuS-NPs, Brochantita, fotodegradação, adsorção.

TITLE: Analysis of the photocatalytic activity and adsorption of CuS nanoparticles synthesized by chemical route for the degradation of organic contaminants

Abstract

The treatment of liquid waste from industrial and domestic waste is urgently demanded. To this end, the photocatalytic activity of semiconductors is promising for the degradation of organic contaminants. CuS nanoparticles were synthesized by chemical route from thiourea and copper sulfate solutions at different concentrations to evaluate their chemical composition, structure, and optical-electrical behavior using XRD, RAMAN spectroscopy, SEM-EDS, and diffuse reflectance techniques. The degradation of the organic contaminant (methylene blue) showed promising results, as explained by adsorption and photocatalysis under conditions of low visible light power (10 W), no use of H₂O₂, and low catalyst concentration. The samples with low sulfate content

showed approximately 78% degradation, while those with 0.20 M Thiourea and 0.15 - 0.20 M Sulphate showed 99% degradation.

Keywords: Semiconductors, CuS-NPs, Brochantite, photodegradation, adsorption.

Introdução

Devido aos riscos ambientais representados pela liberação de poluentes orgânicos e nocivos na água pelo acelerado desenvolvimento industrial, principalmente nos setores farmacêutico, têxtil e de resíduos domésticos, há necessidade de melhorias tecnológicas seguras, simples e de baixo custo para eliminar contaminantes, reutilizar resíduos líquidos em outros processos industriais e, conseqüentemente, purificar a água.

Aproximadamente 20% dos corantes produzidos diariamente pela indústria são descartados na água como efluentes. Se não forem tratados adequadamente, esses resíduos podem representar sérios riscos à saúde humana e animal. Portanto, em virtude desse grave problema ambiental e dos atuais desafios energéticos, a degradação química desses contaminantes utilizando partículas semicondutoras irradiadas com luz visível apresenta-se como uma alternativa atóxica, sustentável e promissora. No entanto, os processos fotocatalíticos podem se tornar economicamente inviáveis quando dependem de fontes artificiais de radiação ou quando a penetração da radiação no meio reacional é limitada.

As nanopartículas semicondutoras de sulfeto de cobre (NPs de CuS) têm atraído atenção significativa nos últimos anos devido às suas propriedades ópticas, elétricas e químicas excepcionais, tornando-as altamente versáteis para diversas aplicações tecnológicas. Essas aplicações incluem fotocatalise, energia fotovoltaica, dispositivos de sensoriamento e até mesmo tratamentos biomédicos, como o tratamento do câncer.

A usabilidade deste material decorre de suas propriedades ajustáveis, que estão intrinsecamente ligadas à sua estequiometria, cristalinidade, tamanho e morfologia. Uma ampla faixa de energia de banda proibida (1,0-2,5 eV) (sem levar em conta os efeitos da ressonância plasmônica e do confinamento quântico devido às dimensões das NPs), resultante das diferenças no comportamento óptico-elétrico, proporciona diferentes funcionalidades para este semicondutor. Além disso, a facilidade de síntese utilizando métodos econômicos, como a precipitação em banho químico, permite escalabilidade e integração comercial.

Saioma Jan et al., 2025, usaram uma rota de coprecipitação química para produzir NPs de CuS a partir de CuCl₂ e Na₂S como precursores para os íons Cu e S. Com uma banda proibida igual a 2,1 eV, o semicondutor foi usado para remover 2-clorofenol na região do visível. Os resultados mostraram uma degradação de cerca de 83,2% do resíduo. Iván Nancucheo et al., 2022, também produziram nanoestruturas de CuS por redução biológica de sulfato (CuSO₄) com uma banda proibida direta entre 2,12 e 2,14 eV. 3 mg de NPs de CuS foram adicionados a 10 ml de solução de azul de metileno (MB) com uma concentração de 5x10⁻⁵ M (6,0x10³ g/mol) e auxiliados pelo agente redutor NaBH₄ para otimizar a fotocatalise com uma lâmpada halógena de 600 W. Os autores relataram uma degradação máxima de 77,9% em 25 minutos de análise, sem

variações subseqüentes. Diversos outros estudos relataram testes de degradação de contaminantes com lâmpadas de alta potência, utilizando reagentes redutores ou inibidores de recombinação elétron-lacuna (e^-/h^+), como H_2O_2 ou razões de massa g/mol mais elevadas. Além disso, há pouca discussão sobre a adsorção de moléculas contaminantes pelas NPs durante o processo de degradação.

Portanto, este estudo tem como objetivo analisar a composição, estrutura cristalina, propriedades óptico-elétricas, dimensões, adsorção e fotocatalise das NPs em função das concentrações dos precursores de íons Cu ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) e S (NH_2CSNH_2) produzidos por uma rota química simples. Para a análise da degradação da solução de MB, foi adotado um sistema simplificado, constituído por uma lâmpada halógena de baixa potência, sem uso de H_2O_2 e com baixa concentração de NPs em relação ao contaminante, para analisar os efeitos de adsorção e fotodegradação em condições de baixo estímulo reativo.

Metodologia

As nanopartículas de CuS foram produzidas usando uma rota de síntese em banho químico. Os reagentes químicos de grau analítico usados neste método de síntese foram tioureia (TU) (NH_2CSNH_2) e sulfato de cobre pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) como precursores para os elementos cobre e enxofre e hidróxido de amônio (NH_4OH) para controlar o pH da solução de sulfato de cobre. TU e sulfato de cobre foram dissolvidos em 100 ml de água destilada separadamente.

Hidróxido de amônio foi então lentamente gotejado na solução de sulfato de cobre, deixando-a em pH 9 (solução azul). A solução de TU foi lentamente adicionada à solução de sulfato de cobre para formar uma única solução com um volume de 200 ml (solução verde). A solução foi então colocada em banho-maria a 75 °C com agitação magnética por 60 minutos. As amostras de NPs foram sintetizadas a partir de soluções de tioureia e sulfato de cobre em diferentes concentrações. Nomes das amostras e características das sínteses. Após a produção das NPs, as partículas são separadas do resíduo líquido por filtração com papel de 80 g/m² e poros com diâmetro médio de 8 µm. As partículas são secas a 60 °C e pesadas para obtenção do rendimento de produção em gramas por síntese.

A morfologia e a composição elementar foram analisadas utilizando microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG) ZEISS AURIGA 40 acoplada à espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDS). Para esta análise, as NPs foram dispersas em acetona, submetidas a ultrassons e gotejadas em uma placa de silício para evaporação em estufa.

O experimento fotocatalítico foi conduzido em um reator caseiro, e 100 mL de uma solução de MB 5×10^{-5} M foram utilizados no teste de fotocatalise. 20 mg de catalisador (NPs) foram adicionados à solução de MB ($4,0 \times 10^3$ g/mol), que foi então submetida à agitação ultrassônica por 1 minuto para garantir a dispersão completa das partículas na solução e facilitar o equilíbrio de adsorção/dessorção do MB na superfície do catalisador. A solução foi então mantida na caixa escura por 30 minutos com agitação mecânica suave para coletar 5 mL da solução de MB e medir a absorção óptica

(medição no escuro). A solução foi então exposta à iluminação controlada de uma lâmpada halógena de 10 W com emissão predominante em $\lambda = 440$ nm e a uma distância de 20 cm entre a fonte de luz e a superfície da solução. Aliquotas de 5 ml da solução de MB foram removidas do recipiente e centrifugadas por 5 minutos a 5000 rpm para determinar a absorbância (A) da solução por espectrofotometria UV-Vis nos tempos de 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 210 min. A concentração de MB na solução foi monitorada pela variação da intensidade do pico de absorção no comprimento de onda de 664 nm, utilizando um espectrofotômetro Genesys 10UV Scanning.

Resultados e Discussões

A Figura 3 mostra a massa de pó produzida em cada síntese, definida pela combinação de diferentes concentrações dos reagentes precursores de íon cobre (sulfato de cobre) e enxofre (tioureia) para formar a fase CuS. Pode-se observar que a variação nas concentrações dos reagentes influencia significativamente a quantidade de partículas produzidas. Concentrações mais baixas de ambos os precursores (por exemplo, T10C10 e T20C10) produzem uma massa menor. Por outro lado, altas concentrações contribuem para a formação de mais partículas durante a síntese (T10C40, T20C40). Isso pode ser explicado pelo aumento da disponibilidade de íons cobre e enxofre para a nucleação e formação das fases sólidas dos semicondutores. Esses dados também mostram que o aumento da concentração de sulfato de cobre influencia a nucleação de fases sólidas mais fortemente do que a tioureia, indicando uma possível saturação de íons enxofre e consequente formação de fases ricas em cobre.

A Figura 4 mostra os difratogramas de raios X das amostras sintetizadas pelo banho químico. As amostras sintetizadas com soluções de sulfato de cobre 0,1, 0,15 e 0,2 M apresentaram picos de difração nas posições $29,54^\circ$ (102), $32,07^\circ$ (103) e $48,37^\circ$ (107), referentes às reflexões de fases hexagonais de CuS (ICSD 32106) com baixa cristalinidade, o que aponta para a formação de partículas nanoestruturadas [23,24]. Por outro lado, os picos localizados em outras posições com maior grau de cristalinidade são fases de um hidroxissulfato formado pela oxidação do sulfato de cobre, $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$ monoclinico, conhecido como Brochantita (ICSD 59288) [25].

A Figura 4a mostra que as amostras T10C15 e T10C20 apresentaram fases de CuS menos intensas e, adicionalmente, fases secundárias de brochantita. Esta fase oxidada é predominante na amostra T10C40 e pode, portanto, ser um fator prejudicial ao desempenho do material como catalisador durante os ensaios de fotodegradação com azul de metileno (exemplo: resíduo têxtil). O aumento da concentração de tioureia para 0,2 M reduziu significativamente a formação de fases secundárias em amostras com concentração de sulfato de cobre de até 0,2 M (T20C20), mas contribuiu para a formação de brochantita ainda mais cristalina em T20C40. A Figura 4c mostra as NPs sintetizadas com 0,3 M de tioureia. Nestes casos, as reflexões referentes à fase CuS são ainda mais definidas do que nos casos anteriores, e o difratograma da amostra T30C40, diferentemente das demais NPs produzidas com 0,4 M de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, resulta na formação de CuS e fases a partir do crescimento da brochantita.

A formação de brochantita em sínteses com alta concentração de sulfato de cobre ocorre devido ao excesso de íons Cu instáveis na solução, que sofrem oxidação; esse processo produz cuprita (Cu_2O), que reage com o S^{2-} presente na solução aquosa [26]. Segundo

Arne H. Zittlau et al., sínteses químicas com maior concentração de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ resultam na precipitação de brochantita [27].

Os dados de DRX foram refinados pelo método de Rietveld. A Figura 5 mostra os resultados para as amostras T10C10 (somente Covelita), T20C40 (somente Brochantita) e T30C40 (Covelita + Brochantita) para exemplificar visualmente a qualidade do procedimento de refinamento.

Os dados de DRX foram refinados pelo método de Rietveld. Para ilustrar visualmente a qualidade do procedimento de refinamento, a Figura 5 mostra os resultados para as amostras T10C10 (somente Covelita), T20C40 (somente Brochantita) e T30C40 (Covelita + Brochantita). Em todos os casos, a qualidade de ajuste (GOF) do refinamento apresentou valores próximos a 1,00, confirmando a correspondência entre os dados experimentais e calculados [28]. Isso também é confirmado pelo comportamento constante do resíduo produzido entre esses dados (curva cinza). A Figura 5d mostra uma ilustração das células de Covelita (Hexagonal) compostas por ligações alternadas CuS_3 - CuS_3 - CuS_3 e S-S ao longo do eixo C [29] e Brochantita (Monoclínica) geradas pelo programa de refinamento TOPAS 4.2, composta por átomos de Cu, S, O e H.

A Tabela 2 mostra os dados obtidos no refinamento, como os parâmetros estruturais, volume da célula, tamanho do cristalito e porcentagem de fase. Os parâmetros estruturais das fases refinadas mostram que as fases Covelita e Brochantita sofreram alterações estruturais, resultando em diferentes volumes celulares. Isso se deve às condições de síntese que favorecem a formação de defeitos estruturais, como vacância e substituição. Durante o processo de formação de NPs de CuS , sítios ocupados por enxofre (S) podem ser substituídos por átomos de oxigênio (O), tornando os parâmetros da rede maiores devido ao maior tamanho do átomo de oxigênio [15,30]. Essa substituição aniônica pode resultar em uma alteração na banda proibida e, conseqüentemente, na fotocatalisação.

Conclusão

O processo de síntese em banho químico utilizando soluções de tiourea e sulfato de cobre pentahidratado formou nanopartículas de CuS (Covelita) e $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$ (Brochantita) com características distintas dependendo da concentração dos reagentes utilizados na produção.

As análises químicas e estruturais (DRX, espectroscopia Raman, MEV-EDS) mostraram que o processo de síntese adotado promoveu a formação de Covelita com dimensões de alguns nanômetros (4,1 a 6,2 nm) e cristais de Brochantita (sulfatos ricos em cobre e oxigênio), especialmente nas misturas com maior teor de sulfato de cobre. As amostras com menor teor de sulfato de cobre apresentaram composição mais pura de Covelita, o que favorece as propriedades óptico-elétricas para interação com a radiação. A reflectância difusa e os resultados dela derivados, como banda proibida, coeficiente de extinção (k) e índice de refração (η), mostram um aumento da absorção na região Vis-NIR, o que favorece a atividade fotocatalítica sob luz visível e a atividade fototérmica na região NIR.

Os valores de bandgap obtidos para as amostras com Covelita entre 1,13 e 1,78 eV para as amostras com Tioureia 0,1 M e 0,3 M justificam a capacidade fotocatalítica das NPs. Por outro lado, a ação da Covelita como catalisador, mesmo com bandgap entre 0,60 e 0,67 eV para as amostras com Tioureia 0,2 M, pode ser justificada pela atividade fototérmica dessas NPs. Os testes de degradação mostraram que a variação da concentração dos reagentes influenciou a atividade das NPs em termos de adsorção e fotocatalise de moléculas de MB quando submetidas à luz visível de baixa potência. As amostras T10C10 (48%) e T20C10 (46%) apresentaram alta atividade fotocatalítica mesmo quando cobertas em MB (com adsorção) e sem o uso de H₂O₂ para inibir a recombinação de portadores de carga. Por outro lado, a amostra T20C20 apresentou 95% de adsorção de MB em 30 minutos de interação com a solução.

Os resultados demonstram que o processo de síntese química adotado é capaz de produzir nanopartículas de CuS economicamente eficientes para a degradação de contaminantes orgânicos industriais, mesmo quando aplicado em condições com baixo poder de irradiação visível, ausência de outros reagentes que potencializem a atividade fotocatalítica e baixa concentração de partículas por volume de líquido.

Referências

- [1] T. Iqbal, M.A. Jameel, M. Farooq, M.S. Mansha, S. Afsheen, N. Al-Zaqri, A. El-marghany, I. Warad, H. Khan, Facile hydrothermal synthesis of Cu-doped MoS₂ nanomaterial: a potential photocatalyst for degradation of MB dye, *Opt. Quantum Electron.* 56 (2023) 156. <https://doi.org/10.1007/s11082-023-05759-9>.
- [2] N. Qin, W. Wei, C. Huang, L. Mi, An Efficient Strategy for the Fabrication of CuS as a Highly Excellent and Recyclable Photocatalyst for the Degradation of Organic Dyes, *Catalysts* 10 (2020) 40. <https://doi.org/10.3390/catal10010040>.
- [3] B. Sarker, K.N. Keya, F.I. Mahir, K.M. Nahiun, S. Shahida, R.A. Khan, Surface and Ground Water Pollution: Causes and Effects of Urbanization and Industrialization in South Asia, *Sci. Rev.* 7 (2021) 32–41.
- [4] L. Isac, C. Cazan, L. Andronic, A. Enesca, CuS-Based Nanostructures as Catalysts for Organic Pollutants Photodegradation, *Catalysts* 12 (2022) 1135. <https://doi.org/10.3390/catal12101135>.
- [5] M. Mousavi-Kamazani, Z. Zarghami, M. Salavati-Niasari, Facile and Novel Chemical Synthesis, Characterization, and Formation Mechanism of Copper Sulfide (Cu₂S, Cu₂S/CuS, CuS) Nanostructures for Increasing the Efficiency of Solar Cells, *J. Phys. Chem. C* 120 (2016) 2096–2108. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b11566>.
- [6] J. Dasgupta, J. Sikder, S. Chakraborty, S. Curcio, E. Drioli, Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: A state of the art review, *J. Environ. Manage.* 147 (2015) 55–72. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.008>.
- [7] J. Jiang, Q. Jiang, R. Deng, X. Xie, J. Meng, Controllable preparation, formation mechanism and photocatalytic performance of copper base sulfide nanoparticles, *Mater. Chem. Phys.* 254 (2020) 123504. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123504>.

- [8] S. He, G.-S. Wang, C. Lu, X. Luo, B. Wen, L. Guo, M.-S. Cao, Controllable Fabrication of CuS Hierarchical Nanostructures and Their Optical, Photocatalytic, and Wave Absorption Properties, *ChemPlusChem* 78 (2013) 250–258. <https://doi.org/10.1002/cplu.201200287>.
- [9] D. Shin, S. Lee, D.R. Kim, J.H. Park, Y. Kim, W.-J. Choi, C.S. Son, Y.G. Son, D. Hwang, Effect of RF Power on the Properties of Sputtered-CuS Thin Films for Photovoltaic Applications, *Energies* 13 (2020) 688. <https://doi.org/10.3390/en13030688>.
- [10] N. Chandran, Bineesha. C, M. R k, M. Bayal, R. Pilankatta, Swapna.S. Nair, CuS-Cu hybrid nanostructures and their applications in electrochemical sensing of homocysteine, *Surf. Interfaces* 44 (2024) 103769. <https://doi.org/10.1016/j.surf.2023.103769>.
- [11] R. Wang, Z. He, P. Cai, Y. Zhao, L. Gao, W. Yang, Y. Zhao, X. Gao, F. Gao, Surface-Functionalized Modified Copper Sulfide Nanoparticles Enhance Checkpoint Blockade Tumor Immunotherapy by Photothermal Therapy and Antigen Capturing, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 11 (2019) 13964–13972. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b01107>.
- [12] M. Rafizadeh, S. AdibAmini, D. Dorrani, E. Fazio, The Role of Nd: YAG Laser Wavelengths on the Laser Ablation Produced Au/CuS Nanocomposite: Effect of Solution Concentration, *Plasmonics* (2024). <https://doi.org/10.1007/s11468-024-02596-8>.
- [13] J. Kundu, D. Pradhan, Controlled Synthesis and Catalytic Activity of Copper Sulfide Nanostructured Assemblies with Different Morphologies, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 6 (2014) 1823–1834. <https://doi.org/10.1021/am404829g>.
- [14] Y. Gupta, N. Jaggi, Investigations on optical properties of synthesized covellite CuS hollow nano cubic structures, *J. Mol. Struct.* 1322 (2025) 140382. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.140382>.
- [15] B. Pejja, M. Reddivari, T.R.R. Kotte, Phase controllable synthesis of CuS nanoparticles by chemical co-precipitation method: Effect of copper precursors on the properties of CuS, *Mater. Chem. Phys.* 239 (2020) 122030. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122030>.
- [16] S. Jan, J. Varma, A. Sharma, M. Aalim, M. Choudhary, B. Mangla, Wet Chemical Co-precipitation Route of CuS Nanoparticles: Synthesis and Characteristics Studies Towards Photo-Degradation of 2-Chlorophenol, *Top. Catal.* (2025). <https://doi.org/10.1007/s11244-025-02054-7>.
- [17] F. Siddique, M.A. Rafiq, M.F. Afsar, M.M. Hasan, M.M. Chaudhry, Enhancement of degradation of mordant orange, safranin-O and acridine orange by CuS nanoparticles in the presence of H₂O₂ in dark and in ambient light, *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 29 (2018) 19180–19191. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-0044-7>.
- [18] S. Zhou, L. Gong, X. Zhao, Q. Liang, W. Zhang, L. Wang, K. Yu, B. Zhou, Synthesis and photocatalytic performance of copper sulfide by a simple solvothermal method, *Chem. Phys. Lett.* 759 (2020) 138034. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2020.138034>.
- [19] H. Yang, J. Fang, L. Liu, H. Du, Research progress on photocatalytic degradation performance of CuS and its composite materials, *Mater. Today Commun.* 40 (2024) 109988.

<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.109988>.

[20] D.E. Ortiz-Ramos, A.I. Martínez-Enríquez, L.A. González, CuS films grown by a chemical bath deposition process with amino acids as complexing agents, *Mater. Sci. Semicond. Process.* 89 (2019) 18–25.

<https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.08.016>.

[21] J.F.S. de Carvalho, R.M. Monção, E.M. de Sousa, C. da Luz Lima, C.L. dos Santos Cruz Costa, R.R.P. Garcia, M.C. Feitor, T.H. de Carvalho Costa, M.S. Libório, R.R.M. de Sousa, Influence of Treatment Time on the Synthesis of Copper Oxide Semiconductor Films by Cathode Cage Plasma Deposition, *J. Electron. Mater.* 53 (2024) 6952–6962.

<https://doi.org/10.1007/s11664-024-11427-9>.

[22] T. Hurma, S. Kose, XRD Raman analysis and optical properties of CuS nanostructured film, *Optik* 127 (2016) 6000–6006.

<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.04.019>.

[23] M. Pal, N.R. Mathews, E. Sanchez-Mora, U. Pal, F. Paraguay-Delgado, X. Mathew, Synthesis of CuS nanoparticles by a wet chemical route and their photocatalytic activity, *J. Nanoparticle Res.* 17 (2015) 301.

<https://doi.org/10.1007/s11051-015-3103-5>.

[24] S.H. Chaki, J.P. Tailor, M.P. Deshpande, Study of catalytic action of micro-particles and synthesized nanoparticles of CuS on cellulose pyrolysis, *J. Therm. Anal. Calorim.* 117 (2014) 1137–1144.

<https://doi.org/10.1007/s10973-014-3924-y>.

[25] S. Vilminot, M. Richard-Plouet, G. André, D. Swierczynski, F. Bourée-Vigneron, M. Kurmoo, Nuclear and magnetic structures and magnetic properties of synthetic brochantite, $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$, *Dalton Trans.* (2006) 1455–1462. <https://doi.org/10.1039/B510545E>.

[26] J.G. Dunn, C. Muzenda, Thermal oxidation of covellite (CuS), *Thermochim. Acta* 369 (2001) 117–123. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00748-6](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00748-6).

[27] A.H. Zittlau, Q. Shi, J. Boerio-Goates, B.F. Woodfield, J. Majzlan, Thermodynamics of the basic copper sulfates antlerite, posnjakite, and brochantite, *Geochemistry* 73 (2013) 39–50.

<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2012.12.002>.

[28] V.N. Hegde, Structural, dielectric, and optoelectronic properties of green synthesized NiO nanoparticles, *Mater. Chem. Phys.* 333 (2025) 130319.

<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.130319>.

[29] D. Ayodhya, M. Venkatesham, A. Santoshi kumari, G.B. Reddy, D. Ramakrishna, G. Veerabhadram, Photocatalytic degradation of dye pollutants under solar, visible and UV lights using green synthesised CuS nanoparticles, *J. Exp. Nanosci.* 11 (2016) 418–432.

<https://doi.org/10.1080/17458080.2015.1070312>.

[30] X. Wang, L. Peng, N. Xu, M. Wu, Y. Wang, J. Guo, S. Sun, J. Qiao, Cu/S-Occupation Bifunctional Oxygen Catalysts for Advanced Rechargeable Zinc–Air Batteries, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 12 (2020) 52836–52844. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c16760>.

[31] M. Das, D. Das, R. Sk, S. Ghosh, P.P. Ray, Investigation of particle size-dependent charge transport phenomena in copper sulphide (CuS) synthesized via solvothermal and co-precipitation methods, *Opt. Mater.* 156 (2024) 115916. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2024.115916>.

CÓDIGO: ET1517

AUTOR: FRANCISCO SANDRO VIDAL DA SILVA

COAUTOR: SUIAN MOREIRA SANTOS FONTES

COAUTOR: GLÓRIA LOUINE VITAL DA COSTA

ORIENTADOR: LIANA FRANCO PADILHA

TÍTULO: Obtenção de celulose a partir de resíduos agroindustriais

Resumo

A produção de laranja no Brasil é uma atividade econômica de destaque global, liderando a exportação de suco. No entanto, o processamento da fruta gera uma grande quantidade de resíduos agroindustriais que correspondem a até metade da massa da fruta processada. Esses resíduos possuem um alto potencial de aproveitamento. A casca de laranja, principal subproduto gerado do processamento da fruta, é composta por constituintes poliméricos naturais, como celulose, hemiceluloses, pectina e clorofila. Nos últimos anos, muitos esforços foram dedicados ao isolamento de celulose, proveniente de subprodutos e resíduos. Tem-se observado que a celulose se tornou um foco central de interesse entre os pesquisadores que buscam o desenvolvimento de materiais sustentáveis. A pesquisa desenvolvida tem como objetivo realizar a extração da celulose a partir de um subproduto agroalimentar, a casca de laranja, e avaliar a sua aplicabilidade em diversos usos. Para o desenvolvimento do trabalho, o resíduo da laranja (cascas) foi submetido a um processo de secagem. Após o processo de secagem, foi realizada a análise de teor de umidade, cinzas e teor lipídico. Obteve-se um teor de umidade de 73,49% para as cascas de laranja. Em relação ao resíduo mineral fixo (cinzas), o valor médio obtido foi de 0,19% e o teor de lipídios nas amostras variou entre 4,20 % e 6,32 %.

Palavras-chave: casca de laranja, extração, celulose, reaproveitamento

TITLE: Obtaining cellulose from agro-industrial waste

Abstract

Orange production in Brazil is a prominent global economic activity, leading juice exports. However, fruit processing generates a large amount of agro-industrial waste, accounting for up to half of the processed fruit mass. This waste has significant potential

for reuse. Orange peel, the main byproduct generated from fruit processing, is composed of natural polymeric constituents such as cellulose, hemicelluloses, pectin, and chlorophyll. In recent years, significant efforts have been devoted to isolating cellulose from byproducts and waste. Cellulose has become a central focus of interest among researchers with the aim to develop sustainable materials. The research aims to extract cellulose from an agri-food byproduct, orange peel, and evaluate its applicability in several uses. For this study, orange peel residue was subjected to a drying process. After the drying process, moisture, ash, and lipid content were analyzed. The moisture content of the orange peels was 73.49%. Regarding the fixed mineral residue (ash), the average value obtained was 0.19%, and the lipid content in the samples ranged from 4.20% to 6.32%.

Keywords: orange peel, extraction, cellulose, reuse

Introdução

A produção de laranja no Brasil, tem se tornando uma das principais atividades econômicas, no que tange à liderança do país na exportação de suco. Durante o processamento para a produção de suco de, diversos resíduos são gerados, como cascas, caroços, sementes e bagaço responsáveis por 50% do volume total da laranja processada, os quais grande parte descartados sem tratamento, gerando perdas econômicas e risco ao meio ambiente pela emissão de gases de efeito estufa (CO₂, CH₄, CO e compostos orgânicos voláteis) (Sugimoto, 2018).

Segundo a FAO (2020), o Brasil domina cerca de 70% da produção global de suco concentrado de laranja. A cadeia produtiva da fruta movimenta bilhões de reais anualmente, gerando empregos e para o país. Em 2017-2018, estimou-se que 54,28 milhões de toneladas de laranjas foram produzidas em todo o mundo com aproximadamente 3,8 milhões de toneladas de resíduos após o seu processamento (USDA, 2023).

Esses resíduos, em sua grande maioria, são considerados subprodutos sem valor comercial. No entanto, possuem alto potencial de reaproveitamento devido à sua composição rica em fibras dietéticas, compostos fenólicos, carotenoides, açúcares e óleos essenciais (Silva et al., 2021). Atualmente, há um crescente interesse científico e industrial nestes subprodutos, tanto pelo seu potencial econômico quanto por sua relevância ambiental. Com o avanço das pesquisas em biotecnologia e processamento sustentável, a valorização de resíduos tem ganhado destaque como estratégia de mitigação de impactos ambientais e geração de novos produtos com valor agregado.

No setor alimentício, por exemplo, cascas e sementes têm sido utilizadas na formulação de farinhas funcionais, enriquecimento de alimentos e extração de compostos bioativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas (Rodrigues et al., 2020). Além disso, esses resíduos têm potencial para serem utilizados na produção de biocombustíveis, biogás e biofertilizantes por meio de processos como a fermentação e a compostagem.

A casca de laranja, principal subproduto gerado do processamento da fruta, é composta por constituintes poliméricos naturais, como celulose, hemiceluloses, pectina e clorofila (Li et al., 2008; Ahmad et al., 2024). Nos últimos anos, muitos esforços foram dedicados ao isolamento de celulose, proveniente de subprodutos e resíduos agrícolas (ou seja, matérias-primas celulósicas sustentáveis), com o objetivo de mudar de um modelo de economia linear para um modelo de economia circular no setor agroalimentar (Wang et al., 2022). De fato, a aplicação desses subprodutos permite a melhoria das economias rurais sem comprometer outros suprimentos.

Tem-se observado que a celulose se tornou um foco central de interesse entre os pesquisadores que buscam o desenvolvimento de materiais sustentáveis, com foco em alta hidrofilicidade, porosidade e resistência mecânica (Abdelhamid et al., 2021). Esse interesse intensificado decorre de uma infinidade de vantagens, incluindo sua natureza hidrofílica intrínseca, alta cristalinidade, insolubilidade em diversos solventes, não toxicidade e facilidade de processamento, todas sustentadas pelas robustas ligações de hidrogênio presentes na celulose, principalmente para a produção de membranas poliméricas (Norizan et al., 2022).

No contexto da sociedade atual, estratégias de reaproveitamento e de economia circular tornam-se fundamentais para garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva da laranja no Brasil (Fernandes et al., 2019). Desse modo, a pesquisa desenvolvida tem como objetivo realizar a extração da celulose a partir da casca de laranja (subproduto agroalimentar) e avaliar a sua aplicabilidade em diversos usos, como, por exemplo, no desenvolvimento de membranas poliméricas.

Metodologia

Obtenção e caracterização da matéria-prima:

Para o desenvolvimento do trabalho, as laranjas adquiridas foram selecionadas e passaram pelo processo de sanitização com lavagem em solução clorada a 200 ppm/15 minutos e posteriormente lavadas novamente, em água corrente, para remoção do cloro residual. A sanitização é realizada para remover possíveis sujidades, microrganismos e/ou patógenos presentes. Após a sanitização, realizou-se o processo de descascamento e despolpamento das frutas, sendo a polpa aproveitada para a produção de suco natural e as cascas utilizadas para reaproveitamento e extração de celulose.

O resíduo da laranja (cascas) foi submetido a uma pesagem inicial para cálculo de rendimento posterior. Em seguida, as cascas passaram por um processo de secagem. O resíduo foi seco em estufa a vácuo uma temperatura de 40° C por 48 horas. Após o processo de secagem, foi realizada a análise de rendimento com o intuito de verificar a quantidade perdida ao longo do processo e determinar a perda de umidade.

O resíduo seco, foi triturado em moinho multi-uso TE-631/2, com o intuito de diminuir o tamanho das partículas presentes no pó. Com a obtenção do pó, foram realizadas

análises de: umidade, por diferença de peso; cinzas, pelo método de carbonização das amostras em mufla a 550 °C por 6 h, até a incineração de toda matéria orgânica (IAL, 2008) e determinação de lipídios totais da amostra. Todas as análises foram realizadas em triplicata para garantir a confiabilidade dos resultados.

Extração de celulose do resíduo em pó:

Para a realização da extração de celulose do resíduo da laranja, a amostra foi adicionada a 500 mL de uma solução de 2% de NaOH mantida em um agitador magnético com aquecimento a 80 °C por 2 horas. Foi realizado o processo de branqueamento, adicionando-se 300 mL de água, 3 g de NaClO₂ e 0,5 mL de ácido acético glacial. A solução foi aquecida a 70 °C por uma hora e, em seguida, mantida em repouso para resfriamento. Após o resfriamento, a amostra foi submetida a uma filtragem a vácuo e lavagem com água destilada até atingir a neutralidade no pH. Por fim, a amostra foi levada novamente à estufa, para remoção da água e obtenção da celulose purificada.

Resultados e Discussões

Conforme destacado anteriormente, a determinação de umidade foi realizada por método gravimétrico, a partir da diferença de peso entre a amostra úmida e a mesma amostra após a secagem em estufa a vácuo, o qual é possível a verificação na figura 1.

Considerando um peso de 582,81g da amostra inicial e 154,54g de peso final, obteve-se um teor de umidade de 73,49% para as cascas de laranja, como mostrado na Tabela 1.

Na Figura 2 pode-se verificar que a amostra apresentou uma cor mais clara, após o tratamento alcalino utilizando NaOH.

Em relação ao resíduo mineral fixo (cinzas), o valor médio obtido foi de 0,19%, evidenciando o baixo teor de matéria inorgânica presente no subproduto estudado, como mostra a Tabela 2. O teor médio de cinzas obtido para o pó da casca de laranja foi de 0,19%, valor que evidencia um baixo conteúdo de matéria inorgânica no material analisado. Esse resultado está próximo ao relatado por Akinmoladun et al. (2019), que encontraram 0,09% de cinzas, e por Nijamudheen et al. (2021), que determinaram 0,052% em cascas de laranja, reforçando a presença reduzida de minerais nesse tipo de resíduo. Por outro lado, outros estudos apontam valores consideravelmente mais elevados, a exemplo de Abid et al. (2020), que reportaram 3,89%, e Kumar et al. (2022).

A análise de lipídios realizada nas amostras em pó da casca de laranja apresentou valores de 0,316 % (equivalente a 6,32 % em 100 mL), 0,300 % (equivalente a 6,00 % em 100 mL) e 0,210 % (equivalente a 4,20 % em 100 mL), para as amostras 1, 2 e 3 (Tabela 2). O teor de lipídios determinado nas amostras de pó de laranja variou entre 0,210 e 0,316%, com média de 0,275% (m/m). Esses valores são compatíveis com a composição de polpa e suco de *Citrus sinensis*, que apresentam baixo teor lipídico, geralmente entre 0,10 e 0,74% (NAGY; SHAW, 1980; USDA, 2024). Em comparação, a casca da laranja

apresenta concentrações superiores, variando de aproximadamente 2 a 8% de lipídios, dependendo da variedade e do método de secagem (BELOSE et al., 2016; IFTIKHAR et al., 2020; ODUNTAN et al., 2022). Dessa forma, os resultados obtidos corroboram a literatura para matrizes de polpa e confirmam que a laranja é um alimento com baixo teor em lipídios.

Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam o elevado potencial de reaproveitamento da casca de laranja como fonte de celulose, corroborando a relevância desse resíduo agroindustrial na perspectiva da economia circular e do desenvolvimento sustentável. As análises físico-químicas realizadas demonstraram umidade de 73,49 %, baixo teor de cinzas de 0,19 % e teores lipídicos variando entre 4,20 % e 6,32 %; valores compatíveis com os reportados na literatura, o que confirma a viabilidade do processo adotado. Além disso, a extração de celulose a partir do tratamento alcalino e do branqueamento demonstrou ser eficaz, permitindo a obtenção de um material com potencial para diversas aplicações tecnológicas, como na produção de membranas poliméricas e outros bioprodutos de valor agregado.

Dessa forma, a pesquisa contribui para a valorização de resíduos da indústria citrícola, ao mesmo tempo em que se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 9 e ODS 12) da Agenda 2030, promovendo alternativas inovadoras para a gestão de resíduos e incentivando práticas produtivas ambientalmente responsáveis.

Referências

ABDELHAMID, H. N.; MATHEW, A. P. Cellulose-Based Materials for Water Remediation: Adsorption, Catalysis, and Antifouling. *Frontiers in Chemical Engineering* 2021, 3, doi:10.3389/fceng.2021.790314.

ABID, M.; CHEIKHROUHO, S.; KACEM, I.; YOUSSEF, S. B.; JOMAA, S.; BOURVICHE, M.; YOUSSEF, S. Effect of drying techniques on physicochemical, antioxidant and functional properties of orange peel powder. *Food Chemistry*, v. 321, p. 126744, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126744>

AHMAD, T. et al. Potentials of orange wastes in wastewater treatment technology: A comprehensive review. *Journal of Water Process Engineering*. v. 67 106113. 2024.

AKINMOLADUN, F. O.; OYEDIRAN, E. O.; OLORUNFEMI, A. E. Orange Peel: A potential source of phytochemical compounds. *International Journal of Research in Pharmacy and Biosciences*, v. 6, n. 7, p. 1-7, 2019.

BELOSE, A. M. et al. Compositional evaluation of orange peel powder. *Journal of Food Science and Technology*, v. 53, n. 4, p. 1881-1889, 2016.

FAO – Food and Agriculture Organization. (2020). FAOSTAT – Laranja: produção mundial e consumo. Disponível em: www.fao.org/faostat.

FERNANDES, C. M., SOUZA, D. C., & LIMA, J. F. (2019). Aproveitamento de resíduos de frutas tropicais: uma abordagem sustentável. *Ciência Rural*, 49(5), e20180523.

IFTIKHAR, A. et al. Nutritional composition of dried orange peel flour. *Food Research International*, v. 137, p. 109–115, 2020.

LI, X.; TANG, Y.; CAO, X.; LU, D.; LUO, F.; SHAO, W. Preparation and evaluation of orange peel cellulose adsorbents for effective removal of cadmium, zinc, cobalt and nickel, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects* 317 (2008) 512–521, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.11.031>.

KUMAR, P.; MEENA, R. S.; YADAV, G. Utilization of tomato pomace and orange peel powders with wheat flour for the production of biscuits. *Mathews Journal of Nutrition & Dietetics*, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2022.

NAGY, S.; SHAW, P. E. *Citrus science and technology*. Westport: AVI Publishing, 1980.

NIJAMUDHEEN, M.; NAIR, V. V.; SURESH, P.; SURESH, A. Thermochemical and proximate characterization of citrus peel waste for energy recovery. *Bioresource Technology Reports*, v. 14, p. 100664, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100664>

ODUNTAN, O. et al. Proximate and phytochemical composition of orange peel. *International Journal of Food Properties*, v. 25, p. 645-654, 2022.

NORIZAN, M. N.; SHAZLEEN, S. S.; ALIAS, A. H.; SABARUDDIN, F. A.; ASYRAF, M. R. M.; ZAINUDIN, E. S.; ABDULLAH, N.; SAMSUDIN, M. S.; KAMARUDIN, S. H.; NORRAHIM, M. N. F. Nanocellulose-Based Nanocomposites for Sustainable Applications: A Review. *Nanomaterials*, 12, 3483. 2022.

RODRIGUES, E. R., MATOS, L. M., & ALMEIDA, M. F. (2020). Compósitos alimentares funcionais a partir de resíduos agroindustriais: aplicações e benefícios. *Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 41(3), 243-251.

SILVA, G. D. et al. Reaproveitamento do bagaço de laranja na formulação de alimentos funcionais. *Revista de Alimentos e Nutrição*, v. 32, n. 1, p. 12–20, 2021

SILVA, T. P., OLIVEIRA, A. L., & MENEZES, P. R. (2021). Potencial antioxidante de resíduos de frutas processadas no Brasil: revisão sistemática. *Revista Brasileira de Alimentos Funcionais*, 14(1), 10-19.

SUGIMOTO, L. Resíduos da laranja rendem extrato para proteção cardiovascular. Disponível em: <https://noticias.r7.com/saude/residuos-da-laranja-rendem-extrato-para-protecao-cardiovascular-23112018>. Acesso em 28 abril. 2025.

USDA – United States Department of Agriculture July 2023 Reports “Citrus: World Markets and Trade” <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>;2024.

WANG, F.; WU, P.; SHU, L.; HUANG, D.; LIU, H. High-efficiency adsorption of cd(II) and co(II) by ethylenediaminetetraacetic dianhydride-modified orange peel as a novel synthesized adsorbent, Environ. Sci. Pollut. Res. 29 (2022) 25748–25758, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17501-7>.

Anexos



Casca de laranja secas em estufa



Análise de Umidade



Análise de cinzas



Processo de extração de Celulose antes (a) e depois (b) do processo de purificação

CÓDIGO: ET1527

AUTOR: ALAN VICTOR SANTOS DE SOUZA

ORIENTADOR: SANDRA RUFINO SANTOS

TÍTULO: EXPERIÊNCIA EM INICIAÇÃO TECNOLÓGICA: ESTUDO DE APLICAÇÕES DE TECNOLOGIAS SOCIAIS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Resumo

O Semiárido nordestino enfrenta diversas limitações como escassez de água e desigualdades sociais, surgindo a demanda por soluções eficientes e sustentáveis. Este trabalho, realizado no contexto da iniciação tecnológica, realizou, por meio de revisão sistemática, uma análise de diversas experiências com tecnologias sociais. Os processos estudados, como emprego de cisternas, quintais produtivos e metodologias participativas promovem a segurança hídrica, alimentar e nutricional, bem como o fortalecimento cultural e comunitário das comunidades rurais. A experiência reforça a importância da pesquisa universitária na produção de conhecimento técnico e transformação social.

Palavras-chave: Tecnologia social; Semiárido nordestino; Iniciação tecnológica

TITLE: EXPERIENCE IN TECHNOLOGICAL INITIATION: STUDY OF APPLICATIONS OF SOCIAL TECHNOLOGIES IN THE NORTHEASTERN SEMIARID REGION

Abstract

The Northeastern Brazilian semiarid region faces several limitations, such as water scarcity and social inequalities, which create the demand for efficient and sustainable solutions. This study, carried out in the context of technological initiation, conducted a systematic review to analyze diverse experiences with social technologies. The processes studied, such as the use of cisterns, home gardens, and participatory methodologies, promote water and food security, as well as the cultural and community strengthening of rural populations. This experience reinforces the importance of university research in producing technical knowledge and fostering social transformation.

Keywords: Social technology; Northeastern semiarid; Technological initiation

Introdução

No contexto do Semiárido nordestino muitos são os desafios socioambientais enfrentados, como a escassez de água, mudanças climáticas cada vez mais intensas e desigualdades socioeconômicas, características que exigem, cada vez mais, estratégias inovadoras no que se refere à convivência (Gomes; Rufino, 2025). Nesse sentido, tecnologias sociais surgem como instrumentos essenciais na promoção do desenvolvimento sustentável, fortalecimento do sentimento de coletividade em comunidades rurais e valorização dos saberes locais e tradicionais. Contrapondo-se a soluções técnicas isoladas, com TS ocorre o envolvimento contínuo das comunidades, estimulando ideais como o aprendizado compartilhado e o protagonismo social (Silva, 2010).

O projeto de iniciação tecnológica analisou, através de uma revisão sistemática da literatura, experiências relacionadas a tecnologias sociais no semiárido, categorizando-as em três eixos: agroecologia, saneamento rural e outras iniciativas comunitárias. Sob tal metodologia, foi observado que práticas como quintais produtivos, sistemas agroflorestais, cisternas e biodigestores, por exemplo, estão amplamente empregados na esfera da agricultura familiar, ampliando a segurança hídrica e a autonomia dos indivíduos. Para além, outras iniciativas, de cunho mais social e ligadas a princípios de educação popular e economia solidária, mostram o papel das tecnologias sociais nos processos de fortalecimento social e cultural.

Essa vivência permitiu, além da análise crítica e produção de conhecimento, refletir sobre o papel da universidade e da engenharia na transformação social, influenciando escolhas acadêmicas e estimulando uma maior integração entre pesquisa, extensão e impacto socioambiental.

Este trabalho também se conecta com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, em especial o ODS 2, que trata da fome zero e agricultura sustentável; o ODS 6, relativo à água potável e saneamento; o ODS 11, que aborda cidades e comunidades sustentáveis; e o ODS 17, que enfatiza parcerias e meios de implementação. A pesquisa evidencia como as tecnologias sociais podem contribuir para a segurança alimentar e nutricional, o acesso à água, o fortalecimento comunitário e a integração entre universidade, políticas públicas e comunidades locais.

Metodologia

Essa pesquisa adotou como procedimento central a revisão sistemática da literatura, a partir de bases de pesquisa como SciELO, Google Scholar, Web of Science, BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações) e Portal de Periódicos CAPES. Para a busca nas bases foram utilizadas combinações de descritores relacionados às temáticas centrais do estudo. Inicialmente, termos como “Tecnologia Social” associadas a “Semiárido” e “Nordeste” foram empregados. No entanto, levando em consideração a sobreposição entre os dois últimos conceitos (uma vez que o semiárido brasileiro se concentra majoritariamente no Nordeste), optou-se por priorizar apenas o descritor “Semiárido”.

Além disso, com o intuito de ampliar a abrangência da pesquisa e contemplar experiências que dialogam com tecnologias sociais sem obrigatoriamente utilizar essa nomenclatura, termos alternativos foram empregados, como “Comunidades Tradicionais” e “Comunidades Quilombolas”. Essas adaptações tiveram como intuito a redução de redundâncias e a recuperação de trabalhos mais representativos, como as experiências que se enquadram no campo das tecnologias sociais e não utilizam a expressão de forma explícita.

Para fins de garantir resultados mais pertinentes, foram estabelecidos critérios de busca como trabalhos publicados nos últimos 20 anos, em português, inglês ou espanhol e que tenham foco em experiências práticas no semiárido. Os resultados foram organizados em planilha e estudos duplicados ou sem referência clara à temática de tecnologia social foram excluídos.

Portanto, o método proposto se orienta no sentido de oferecer um olhar abrangente e sólido sobre os benefícios e dificuldades que permeiam o emprego das tecnologias sociais no contexto do semiárido nordestino.

Resultados e Discussões

Os dados foram organizados, de forma qualitativa, para o agrupamento em três eixos temáticos que foram identificados como mais recorrentes: agroecologia, saneamento rural e outras expressões de tecnologias sociais, de modo a permitir a identificação de impactos positivos quanto desafios.

No eixo da agroecologia, práticas como quintais produtivos, bancos de sementes e sistemas agroflorestais, como o CSA (Comunidade que Sustenta a Agricultura), não apenas promovem o acesso à alimentação diversificada e digna, mas dão ênfase à soberania alimentar nesses territórios. Essas práticas reduzem a necessidade de dependência de insumos externos, e revelam que a agroecologia se expressa como um movimento de resistência, não apenas de cultivo sustentável.

Com relação ao saneamento rural, soluções que utilizam cisternas, fossas sépticas alternativas, sistemas de reaproveitamento de águas pluviais e biodigestores contribuem para o acesso à água de qualidade e a promoção de tratamento e reutilização de efluentes e resíduos. Essas soluções impactam diretamente na qualidade de vida das comunidades e para a redução da vulnerabilidade hídrica frente às mudanças climáticas, por exemplo. Todavia, as pesquisas demonstram que a continuidade e bom funcionamento dessas tecnologias ainda depende de suporte técnico continuado, evidenciando um desafio persistente para a difusão e manutenção dessas práticas.

Não obstante a isso, outras iniciativas de tecnologias sociais, experiências como moedas sociais e metodologias de educação popular e projetos participativos mostram que a aplicação e desenvolvimento de tecnologias sociais vai além do aspecto material. Nesse sentido, atuam como ferramentas de fortalecimento cultural e político, suscitando a

cooperação e solidariedade, sobretudo, trazem à tona e dão protagonismo aos saberes locais nesses processos. Dessa forma, incentivando a transformação social por meio da construção coletiva do conhecimento.

Em suma, os trabalhos analisados revelam que as tecnologias sociais vão além da solução puramente técnica, são instrumentos de transformação social, cujo cerne está no protagonismo popular, preservação ambiental e cidadania. Contudo, mesmo com o potencial crescente das tecnologias sociais para a promoção da convivência com o semiárido, desafios persistentes ainda são enfrentados, tais como a necessidade de políticas públicas efetivas e a necessidade de suporte externo contínuo para a manutenção das iniciativas. Logo, as tecnologias sociais devem ser entendidas como não apenas soluções pontuais ou milagrosas, mas como parte de um processo contínuo e coletivo.

Conclusão

O trabalho construído na iniciação tecnológica demonstrou que as tecnologias sociais vão além de soluções técnicas, sendo soluções promissoras para muitos problemas enfrentados no semiárido nordestino. São processos de valorização cultural, resistência e protagonismo comunitários. Os resultados traduzem impostos benefícios em esferas como a agricultura familiar e a segurança hídrica, frente a entraves de manutenção e dependência de apoio externo.

Essa experiência contribuiu para minha formação, despertando interesse em tópicos como engenharia popular, tecnologias sociais e extensão universitária, influenciando, inclusive na escolha para eixo temático do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) e incentivando a continuidade da trajetória acadêmica com foco em pesquisa aplicada e impacto social. Isso reforça que a pesquisa científica é ferramenta básica de transformação social, por meio da articulação de conhecimento acadêmico e prática real, promovendo, assim, mudanças significativas.

Referências

ALTIERI, M. A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2009. Acesso em: 26/08/2025.

GOMES, M. V.; RUFINO, S. A tecnologia social e suas contribuições para o desenvolvimento da resiliência climática no semiárido potiguar. *InterAção*, [S.l.], v. 16, n. 1, p. e90273, 2025. Acesso em: 25/08/2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL - ITB. Guia do Saneamento 2023. São Paulo: ITB, 2023. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/Guia-do-Saneamento-2023_V20_12.11_Digital.pdf>. Acesso em: 26/08/2025.

MINAYO, M. C. de S.; SANCHES, O.. Quantitative and Qualitative Methods: Opposition or Complementarity? Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 239–262, jul./set. 1993. Acesso em: 25/08/2025.

SILVA, M. J. da. et al. Extensão rural e tecnologia sustentável: utilização de biodigestor na agricultura familiar. Diversitas Journal, v. 3, n. 3, p. 867–876, set./dez. 2018. Acesso em: 26/08/2025.

CÓDIGO: ET1549

AUTOR: RICARDO GARCIA LOPES

ORIENTADOR: VANESSA BECKER

TÍTULO: Uso materiais naturais na adsorção de fósforo para o controle da eutrofização: Experimentos em microescala.

Resumo

A eutrofização é um dos principais problemas ambientais em reservatórios, provocada pelo enriquecimento excessivo de nutrientes, especialmente fósforo (P) e nitrogênio (N). No semiárido brasileiro, essa condição é intensificada por fatores como altas temperaturas, secas recorrentes, balanço hídrico negativo e uso inadequado do solo, tornando esses ecossistemas mais vulneráveis. Embora a redução das cargas externas seja crucial, a fertilização interna do fósforo nos sedimentos pode sustentar a eutrofização por décadas, exigindo medidas adicionais de remediação. Nesse contexto, a geoengenharia surge como uma alternativa promissora, utilizando materiais naturais ou modificados que retêm fósforo na coluna d'água ou no sedimento. A bentonita modificada com lantânio (BML) tem se mostrado eficiente, mas seu alto custo limita sua aplicação. Assim, o uso de sorventes naturais de baixo custo, como solos e minerais, representa uma alternativa viável. Este estudo avaliou a capacidade de sorção de fósforo de um Nitossolo Vermelho Distroférrico, coletado em Cabo de Santo Agostinho (PE), em águas de três reservatórios do semiárido: Gargalheiras, Dourado e Boqueirão. Foram testados dois sorventes (base e topo) em diferentes concentrações de fosfato. Os resultados mostraram remoção de fósforo entre 40% e 90%, especialmente em concentrações baixas. Conclui-se que o Nitossolo Vermelho Distroférrico é uma alternativa natural e econômica para mitigar a eutrofização em reservatórios do semiárido.

Palavras-chave: Eutrofização; Geoengenharia; Nitossolo Vermelho Distroférrico.

TITLE: Use of natural materials in phosphorus adsorption for eutrophication control: Microscale experiments.

Abstract

Eutrophication is one of the main environmental problems affecting reservoirs, caused by excessive nutrient enrichment, especially phosphorus (P) and nitrogen (N). In the Brazilian semi-arid region, this condition is exacerbated by factors such as high temperatures, recurrent droughts, negative water balance, and improper soil use, making these ecosystems more vulnerable. While reducing external nutrient loads is essential, internal phosphorus release from sediments can sustain eutrophication for decades, requiring additional remediation measures. In this context, geoengineering emerges as a promising alternative, using natural or modified materials that can retain phosphorus in the water column or sediment. lanthanum-modified bentonite (LMB) has proven to be effective, but its high cost limits its application. Thus, the use of low-cost natural sorbents, such as soils and minerals, represents a viable alternative. This study assessed the phosphorus sorption capacity of a Red Dystroferic Nitosol, collected in Cabo de Santo Agostinho (PE), in waters from three semi-arid reservoirs: Gargalheiras, Dourado, and Boqueirão. Two sorbents types (base and top) were tested at different phosphate concentrations. The results showed phosphorus removal ranging from 40% to 90%, especially at lower concentrations. It is concluded that Red Dystroferic Nitosol is a natural and cost-effective alternative for mitigating eutrophication in reservoirs of the Brazilian semi-arid region.

Keywords: Eutrophication; Geoengineering Dystroferic Red Nitosol.

Introdução

Eutrofização é um problema causado por um desequilíbrio nas proporções e porções de nutrientes como fósforo (P) e nitrogênio (N) disponibilizados nos ambientes aquáticos, esse acréscimo pode acarretar no aumento da produção primária (Le Moal et al., 2019). Esse processo pode ser dado pelo aporte de fontes internas, como fertilização interna pelo fósforo contido no sedimento (Cavalcante et al., 2018), ou externa, como esgoto (efluentes domésticos e industriais) ou uso do solo (atividades agrícolas) (Smith e Schindler, 2009;).

O semiárido Brasileiro corresponde uma área de 969.589,4 km², abrangendo 11% do território nacional (Barbosa et al., 2012). A eutrofização é problema que se torna mais preocupante para esta região do Brasil, devido aos seus reservatórios possuírem características como: altas temperaturas, secas recorrentes e balanço hídrico negativo (Monicelli et al., 2023), mal uso e ocupação do solo e alta suscetibilidade a erosão (Cunha e Cunha, 2023), essas características tornam o ambiente naturalmente mais suscetível a processos eutróficos.

Diante da problemática da eutrofização se faz necessário meios para mitigar esse processo e restaurar o estado trófico desses reservatórios. Segundo Abell et al., (2022), existem diversas formas de se lidar com eutrofização, entre elas, redução das cargas externas de nutrientes, redução das cargas internas de nutrientes, biomanipulação e manipulação hidrológica. Sabe-se que a redução das cargas externas de nutrientes se faz imprescindível para recuperação destes ambientes, podendo resultar na melhoria da qualidade da água, após a baixa nos porções de fósforo biodisponível (Abell et al., 2022), mas nem sempre pode ser a solução, visto que, existe o reservatório pode continuar eutrofizado devido a fertilização interna (Cavalcante et al., 2018) Por isso, é essencial

implementar medidas de controle com o intuito de reduzir a carga interna de nutrientes no ambiente (Lürling; Mucci, 2020).

A geoengenharia é a manipulação de processos biogeoquímicos com técnicas de origem natural ou artificial para induzir um resultado químico ou ecológico desejado (Mackay et al., 2014), ela representa uma abordagem promissora, sob condições apropriadas, pode reduzir a liberação de P dos sedimentos, acelerando assim a recuperação do corpo hídrico (Lürling et al., 2016). Existem diversos materiais incluindo coagulantes químicos e orgânicos, e outros compostos com afinidade química pelo fósforo como argilas naturais ou modificadas (Lürling et al., 2016). Estes materiais podem ter diversas origens como, ocorrência natural ou produzidos sinteticamente, argilas minerais ou solos modificados, subprodutos de mineração, processamento mineral e subprodutos industriais (Douglas et al., 2016). Dentre eles destaca-se a bentonita modificada com lantânio (BML), um tipo de argila bentonítica enriquecida com lantânio, que mostrou resultados inegáveis na remoção do FRS e o fósforo contido no sedimento (Lürling et al., 2016; Lürling et al., 2020), entretanto é material com custos elevados quando se faz necessário diversas aplicações ou uso de grandes quantidades (Noyma et al., 2016).

Por esse motivo, tem se buscado materiais alternativos como para remediação desses ambientes com estado trófico deteriorado, fazendo uso adsorventes naturais como solos, bauxitas e zeólitas, que são materiais de ampla ocorrência (Noyma et al., 2016) trazendo a oportunidade de testar solos naturais com valor de sorção conhecido. Dito isto, o seguinte estudo tem como objetivo quantificar a capacidade de sorção de P de um solo natural óxido para remediação de corpos hídricos eutrofizados.

Metodologia

Área de estudo:

O presente estudo foi realizado em três reservatórios situados no semiárido tropical brasileiro, sendo eles, Marechal Dutra (Gargalheiras), Dourado e Boqueirão, localizados respectivamente nas cidades de Acari (06° 25' 32,94" S 36° 36' 6,16" W), Currais Novos (06° 14' 50,07" S 36° 30' 36,34" W) e Parelhas (06° 41' 42,28" S 36° 37' 45,11" W). (ANA, 2017), Pertencentes a bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açú, que possui um temperatura média de 24,2°C a 28°C, com umidade relativa do ar média anual de 66%, tendo como clima, precipitação média que varia de 440mm/ano a 1.050mm/ano, tendo caatinga como principal bioma (ANA, 2018) e clima tropical semiárido BS'h' segundo a classificação de (Alvares et al., 2014).

Estes reservatórios tem diversas funções. Entre elas podemos citar: abastecimento urbano e rural, abastecimento industrial, irrigação e dessedentação animal (ANA, 2017), sua zona ciliar apresenta em maior parte solo exposto, em comparação com seu solo natural e parte usada para agricultura, nesta área da zona ciliar com solo exposto, estão situadas residências unifamiliares e estradas e uso para pecuária extensiva (Cunha & Cunha, 2023).

sorvente natural:

foram testados dois sorventes naturais (base e topo) para averiguar sua capacidade de sorção, ambos sorventes são de origem de um Nitossolo vermelho distroférico (Santos et al., 2025), As amostras de solo foram coletados na faixa costeira sul da Bacia do Cabo ($8^{\circ}18'43,81920''S$ $35^{\circ}1'17,82430''W$), município de Cabo de Santo Agostinho, estado de Pernambuco, no Nordeste Brasileiro, os sorventes foram retirados em profundidades diferentes do morro onde base foi coletada 37m e o topo a 72m.

As amostras foram retiradas de forma aleatória de uma profundidade que ia de 20 a 60cm, esta área (horizonte B nítico) foi escolhida devido a sua característica de conter óxidos metálicos como o alumínio, ligados a argilas e acumulados pelos processos de eluviação-iluviação. (Santos et al., 2025) Além disso, devido ao solo ter a característica de ser distroférico ele possui altos teores de ferro nos horizontes superficiais e baixa fertilidade.

As amostras foram secas em estufa, destorroadas e passadas em peneira 2 mm de abertura, para obtenção de uma terra fina seca em estufa TFSE e posteriormente caracterizados física e quimicamente (Texeira et al., 2017; Silva et al., 2022).

Coleta e análise inicial da água

As coletas dos reservatórios foram realizadas em períodos diferentes, onde foram coletadas por meio da Garrafa de Van Dorn água do epilímnio e armazenadas em garrafas de polietileno, que foram refrigeradas até o momento da análise. As amostras passaram por diversas análises físicas e químicas, como pH (SensiON+), Fósforo Total pelo método colorimétrico (Valderrama, 1981) e Fósforo Reativo Solúvel também pelo método colorimétrico (Murphy; Riley, 1962), Nitrato (Muller; Widemann, 1955), Sólidos Suspensos Totais por gravimetria (Apha, 2017), Substâncias Húmicas em ABS 254 nm (Leenheer; Croué, 2003) e Clorofila-a extraída com etanol 95% e medida por espectrofotometria (Jespersen e Chistoffersen, 1987).

experimento de sorção

As amostras foram enriquecidas com P por meio do uso de soluções de diferentes concentrações feitas a base de KH_2PO_4 (fosfato de potássio monobásico). foi adicionado 0,1g dos sorventes em tubos falcon de 50 ml que continuam 48 ml de água dos reservatórios previamente filtradas em filtro de $1,2\mu m$ e 2 ml de da solução de fosfato, de jeito que as concentração finais apresentassem o valor aproximado de 0, 1, 2,5, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120 $mg\ L^{-1}$. Onde 0 representa uma amostra com apenas água do reservatório. Após a aplicação dos dois sorventes (base e topo) as amostras foram agitadas continuamente a 200 rpm por um período de 24 horas. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 5 minutos, seguido da filtração do sobrenadante em membrana com poro de $0,45\mu m$. Esse processo visa minimizar interferências de material suspenso na análise de fósforo solúvel reativo. Todas as análises foram conduzidas em triplicata Foram medidos substâncias húmicas (254 nm), fósforo reativo solúvel e pH (figura 1), mas para o seguinte trabalho os dados de substâncias Húmicas e pH não foram utilizados.

Resultados e Discussões

resultados

Através do uso da isoterma de langmuir conseguimos determinar a capacidade máxima de sorção (Q_{max}) onde ambos sorvetes(base e topo), tendem ao equilíbrio, Entre os sorventes foi visto uma diferença para atingir o Q_{max} , enquanto a base foi necessário com cerca de 2,08 mg g⁻¹ ($r=00,51$) para o reservatório Boqueirão, de 1,75 mg g⁻¹ ($r=00,61$) para Dourado e de 3,38 mg g⁻¹ ($r=1,14$) para o reservatório Gargalheiras, topo atingiu com 2,34 mg g⁻¹ (00,70 r) Boqueirão, 1,26 mg g⁻¹ ($r=00,76$) para o reservatório Dourado e 4,13 mg g⁻¹ ($r=00,76$) para Gargalheiras(Tabela 1). O sorvente topo apresentou maior capacidade máxima de sorção nos reservatórios de Gargalheiras e Boqueirão, enquanto em dourado foi visto base demonstrar maior valor. segundo a Langmuir ambos sorventes apresentam valores significativos

Ambos sorventes conseguiram remover fosfato, especialmente nas concentrações iniciais, atingindo valores de remoção de por volta de 40% nas concentrações de aproximadamente 2,5 mg L⁻¹. Base teve capacidade de remoção de mais de 90% de fosfato para os Reservatórios de Gargalheiras e Boqueirão na concentração inicial, que indica a condição natural de FRS da água estudada, sem a adição da solução de fosfato. Na água do reservatório Dourado com ambos os sorventes as remoções variaram em média entre 46% a 58% na concentração inicial e, em Gargalheiras e Boqueirão para topo, as remoções ficaram em média entre 60 a 89% na concentração inicial (Figura 2).

discussões:

Os sorventes (base e topo) originários do Nitossolo Vermelho Distroférico demonstraram capacidade de sorver o fósforo reativo solúvel (FRS) presente nas amostras ao longo das concentrações de equilíbrio, apresentando resultados mais eficientes nas concentrações mais baixas para ambos os tipos de sorvente. Esses resultados são compatíveis com os níveis observados nas águas dos reservatórios estudados. Isso ocorre porque o FRS encontrado nessas águas não ultrapassa 1 mg L⁻¹ (Monicelli et al., 2023), uma vez que é rapidamente assimilado pelos organismos fotossintetizantes presentes no ambiente.

Embora os valores de capacidade máxima de sorção de fósforo (Q_{max}) tenham variado, os resultados obtidos para os materiais testados nas águas dos três reservatórios estudados são consistentes com os dados encontrados na literatura, tanto em condições controladas (como a utilização de água deionizada) quanto em condições mais próximas da realidade (água de reservatórios). Apesar de os valores de Q_{max} observados para os materiais testados serem inferiores aos encontrados na literatura para materiais modificados, como o BML(Noyma et al., 2016) esses resultados são considerados satisfatórios, uma vez que se tratam de materiais de origem natural, e, portanto, heterogêneos. Esse fator também ajuda a explicar a variabilidade nos percentuais de remoção ao longo das concentrações de equilíbrio.

A mineralogia foi identificada como um fator determinante na capacidade de sorção dos materiais, sugerindo que o comportamento sorvente do Nitossolo Vermelho estudado está fortemente relacionado às suas características mineralógicas, comuns em solos tropicais oxídicos. Os sorventes testados apresentam predominância de óxidos de ferro (Fe), seguidos por óxidos de alumínio (Al) (Santos et al., 2025), essas propriedades fazem com que os sorvetes estudados possuam alta capacidade de sorção de ânions, como o fosfato.

Outro aspecto relevante é o pH dos solos, que é inferior a 5, o que contribui para um efeito tampão quando esses solos são introduzidos nas águas dos reservatórios, cujo segundo Monicelli et al., (2023) seu pH varia naturalmente de neutro a alcalino. Esse efeito tampão ajuda a estabilizar o pH e pode favorecer a sorção de fósforo em ambientes de alta alcalinidade.

Conclusão

Apesar de apresentarem algumas diferenças na capacidade de sorção e percentual de remoção, a depender da água utilizada, ambos os sorventes (base e topo) apresentaram bons resultados na inativação de FRS, especialmente em baixas concentrações, que se assemelham às condições encontradas nas águas de forma natural e se mostram como candidatos promissores para a sorção de P em águas eutrofizadas da região semiárida. O comportamento sortivo do material se relaciona com a presença de minerais de Fe e Al no solo e às suas características físico-químicas, como baixo pH e alto teor de argila.

Referências

REFERÊNCIAS

- ABELL, J. M.; ÖZKUNDAKCI, D.; HAMILTON, D. P.; REEVES, P. Restoring shallow lakes impaired by eutrophication: Approaches, outcomes, and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 52, n. 7, p. 1199–1246, 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Reservatórios do semiárido brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação. Brasília, DF: Ana, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu. Brasília, DF: Ana, 2018.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington, DC: APHA, 2017.

Barbosa, J. E. de L., Medeiros, E. S. F., Brasil, J., Cordeiro, R. da S., Crispim, M. C. B., & da Silva, G. H. G.. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management

Acta Limnologica Brasiliensia, v. 24 n. 1, p. 103-118, 2012.

CAVALCANTE, H.; ARAÚJO, F.; NOYMA, N. P.; BECKER, V. Phosphorus fractionation in sediments of tropical semiarid reservoirs. Science of The Total Environment, v. 619–620, p. 1022–1029, 2018.

CUNHA, G. K. G.; CUNHA, K. P. V. D. Effects of land use changes on the potential for soil to contribute phosphorus loads in watersheds. Environmental Development, v. 45, p. 100825, 2023.

DOUGLAS, G. B.; HAMILTON, D. P.; ROBB, M. S.; PAN, G.; SPEARS, B. M.; LURLING, M. Guiding principles for the development and application of solid-phase phosphorus adsorbents for freshwater ecosystems. Aquatic Ecology, v. 50, n. 3, p. 385–405, 2016.

JESPERSEN, A. M.; CHRISTOFFERSEN K. 1987, Measurements Of Chlorophylla From Phytoplankton Using Ethanol As Na Extraction Solvent, Arch. Hydrobiol., 190, 445-454.

LANGMUIR, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. Journal of the American Chemical Society, 40, 1361–1403.

LEENHEER, J. A.; CROUÉ, J. P. Peer reviewed: Characterizing aquatic dissolved organic matter. Environmental Science & Technology, 37, 18A–26A, 2003.

LE MOAL, M.; GASCUEL-ODOUX, C.; MÉNESGUEN, A.; SOUCHON, Y.; ÉTRILLARD, C.; LEVAIN, A.; MOATAR, F.; PANNARD, A.; SOUCHU, P.; LEFEBVRE, A.; PINAY, G. Eutrophication: A new wine in an old bottle? Science of The Total Environment, v. 651, p. 1–11, 2019.

LÜRLING, M.; KANG, L.; MUCCI, M.; VAN OOSTERHOUT, F.; NOYMA, N. P.; MIRANDA, M.; HUSZAR, V. L. M.; WAAJEN, G.; MARINHO, M. M. Coagulation and precipitation of cyanobacterial blooms. Ecological Engineering, v. 158, p. 106032, 2020.

LÜRLING, M.; MUCCI, M. Mitigating eutrophication nuisance: in-lake measures are becoming inevitable in eutrophic waters in the Netherlands. Hydrobiologia, v. 847, n. 21, p. 4447–4467, dez. 2020.

LÜRLING, M.; MACKAY, E.; REITZEL, K.; SPEARS, B. M. Editorial – A critical perspective on geo-engineering for eutrophication management in lakes. Water Research, v. 97, p. 1–10, 2016.

MACKAY, E. et al. Geoengineering in lakes: welcome attraction or fatal distraction? *Inland Waters*, v. 4, n. 4, p. 349–356, 2014.

MONICELLI, F.; ROCHA JUNIOR, C. A. N. D.; LIMA, S.; DINIZ, I. S. M.; BECKER, V. Trophic state in Brazilian semiarid reservoirs after reflooding. *RBRH*, v. 28, p. e37, 2023.

MULLER, R.; WIEDEMANN, O. Die Bestimmung des Nitrat-Ions In Wasser. Von Wasser 22,247, 1995.

MURPHY, J.; RILLEY, J. P. A Modified Single-Solution Method For The Determination Of Phosphate In Natural Waters *Analyt. Chim. Acta*, 24 p. 31-36, 1962.

NOYMA, N. P.; MAGALHÃES, L. DE; FURTADO, L. L.; MUCCI, M.; VAN OOSTERHOUT, F.; HUSZAR, V. L. M.; MARINHO, M. M.; LÜRLING, M. Controlling cyanobacterial blooms through effective flocculation and sedimentation with combined use of flocculants and phosphorus adsorbing natural soil and modified clay. p. 26–38, 2016.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology & Evolution*, v. 24, n. 4, p. 201–207, 2009.

NOYMA, N. P.; MAGALHÃES, L. DE; FURTADO, L. L.; MUCCI, M.; VAN OOSTERHOUT, F.; HUSZAR, V. L. M.; MARINHO, M. M.; LÜRLING, M. Controlling cyanobacterial blooms through effective flocculation and sedimentation with combined use of flocculants and phosphorus adsorbing natural soil and modified clay. p. 26–38, 2016.

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. Á. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 6. ed. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2025.

SILVA, S. L. I. DA; CUNHA, G. K. G.; CUNHA, K. P. V. DA; ARAÚJO, F.; BECKER, V. Potencial de um nitossolo numa topossequência para uso como adsorvente no controle de eutrofização. in: XVI SIMPOSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 15., 2022, Aracajú. Anais do XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Aracajú: ABRH, 2022.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VALDERRAMA, J. C. 1981. The Simultaneous Analysis Of Total N And Total P In Natural Waters. *Mar. Chem.* 10:109-122.



tabela 1



figura 1



figura 2

CÓDIGO: ET1559

AUTOR: LIANDRA KELLY PATRIOTA CAMPELO

ORIENTADOR: ANA PAULA CYSNE BARBOSA

TÍTULO: Simulação em materiais compósitos e comparação a ensaios mecânicos

Resumo

Os materiais compósitos têm se destacado por suas propriedades, como alta resistência, alta rigidez e leveza. Os materiais compósitos são amplamente utilizados nas indústrias aeroespacial, automotiva, naval e esportiva. Este projeto tem como objetivo investigar materiais compósitos por meio de simulações e comparar resultados obtidos com ensaios mecânicos realizados em laboratório. As simulações foram realizadas no software HyperWorks, versão 2022, da Altair. É possível extrair resultados de análises térmicas, de resistência e de estrutura. Neste projeto foram realizadas simulações visando diferentes configurações de laminados para entender e prever o comportamento do material e como essa configuração se comporta aplicada em uma pá de aerogerador. Os resultados esperados têm potencial para contribuir com o desenvolvimento, análise e otimização de materiais compósitos.

Palavras-chave: simulação; compósito; matriz; fibra; testes mecânicos

TITLE: Simulation of Composite Materials and Comparison with Mechanical Testing.

Abstract

Composite materials have gained prominence due to their properties, such as high strength, high stiffness, and light weight. They are widely used in the aerospace, automotive, marine, and sports industries. This project aims to investigate composite materials through simulations and compare the results obtained with mechanical tests performed in the laboratory. The simulations were carried out using Altair's HyperWorks software, version 2022. It is possible to extract results from thermal, strength, and structural analyses. In this project, simulations were conducted considering different laminate configurations to understand and predict the material's behavior and how these configurations perform when applied to a wind turbine blade. The expected results have

the potential to contribute to the development, analysis, and optimization of composite materials.

Keywords: simulation; composite; matrix; fiber; mechanical tests

Introdução

A combinação de dois ou mais materiais distintos ou de formas distintas, que unidos tem propriedades superiores a sua forma individual é chamada de compósito [9]. Em geral, os materiais compósitos são constituídos por uma matriz que pode ser: polimérica, metálica ou cerâmica, e pelo reforço que pode ser encontrado em forma de partículas, fibras curtas ou fibras longas [7].

Os materiais compósitos são aplicados em diversas indústrias, como a aeroespacial, automotiva, construção civil e esportes, devido às suas propriedades que combinam leveza com alta resistência mecânica [3]. Além disso, os compósitos podem ser projetados para atender a requisitos específicos, como resistência à corrosão, ao desgaste, possuir estabilidade térmica, entre outros, tornando-o atrativo para aplicações tecnológicas avançadas [7].

Entre as matrizes poliméricas mais utilizadas destacam-se a epóxi e a poliéster. A matriz epóxi apresenta elevada resistência química, boa adesão à fibra e excelente desempenho mecânico, o que garante maior durabilidade em condições severas [2]. Já a matriz poliéster, apesar de possuir menor resistência, apresenta menor custo, o que favorece sua aplicação em projetos de grande escala [4].

Associadas a essas matrizes, as fibras de vidro e de carbono atuam como reforço estrutural: a fibra de vidro é mais econômica e confere boa resistência mecânica, enquanto a fibra de carbono possui módulo elástico elevado e menor densidade, proporcionando maior rigidez e desempenho estrutural [1]. A combinação entre diferentes matrizes e fibras permite o desenvolvimento de laminados com propriedades otimizadas, atendendo às exigências de eficiência, leveza e resistência necessárias para o funcionamento das pás de aerogeradores [9].

A utilização de softwares de simulação são voltadas para otimização de designs, a redução de custos e melhoria na eficiência no desenvolvimento de materiais. As simulações computacionais, permite prever o comportamento de um compósito em diferentes condições, como tração, compressão, torção, impactos, entre outros. Com isso, o principal objetivo deste trabalho é através da utilização de simulação computacional modelar e analisar mecanicamente um laminado de material compósito, a fim de comparação com resultados obtidos com ensaios em laboratório e com configuração mais resistente mecanicamente, comparar as diferentes possibilidades de escolha de material para uma pá de aerogerador.

Metodologia

Os 2 laminados que foram ensaiados para determinar a melhor configuração são constituídos de uma matriz epóxi com fibras de vidro, sendo $90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ$ e 90°_4 e possuindo dimensões de 30mm x 10mm e a pá de aerogerador 30m de comprimento. O software foi o Hyperworks da Altair, versão 2022.

Através do comando geometry, foi feito um quadrado com dimensões de 10 cm. Com isso, foi possível adicionar uma malha de 60x20 no comando mesh, essa foi a base de toda a construção do laminado. Depois de orientar a malha no sentido positivo do eixo x, realizou-se na aba model a confecção do compósito, pegando o shape completo do mesh feito anteriormente, e criando quatro ply a partir disso, com espaçamento de 0.1 cm, essa configuração foi arrastada para a formação do laminado, que foi configurado para adquirir propriedades como um único material, e por fim foi dado informações que esse material é de uma matriz epóxi com fibras de vidro. Os valores utilizados como referência foram retirados do ebook sobre materiais compósitos disponibilizados pela própria Altair. $E1 = 7500000$ psi; $E2 = 2000000$ psi; $V12 = 0.25$; $G12 = 1060000$ psi.

Figura 1 - Montagem do compósito.

Seguindo a norma ASTM D2344 de ensaio de flexão, os apoios foram colocados a 18 mm de distância um do outro. E a força atribuída no centro foi de 115,3 N x 21, para efeito de comparação.

Figura 2 - Carregamento do compósito.

O ensaio realizado em laboratório utilizou uma placa fabricada com prepreg fibra de vidro-epóxi Hexply® M9.6F/32%/UD1600+V50/G+F do fabricante Hexcel[3], que foi submetida a impacto por queda livre[3], cortadas nas dimensões 10x30 mm, conforme especificações da norma ASTM D2344/D2344M, e fornecidas para o presente trabalho. A amostra utilizada estava localizada próxima (10 mm de distância) do impacto por queda livre

realizado em uma placa 10 cm x 15 cm, com 15 J.

As pá de aerogerador foram produzidas de forma semelhante, os valores utilizados estão na tabela 1. A força aplicada no carregamento das pás foi de 10m/s [5] a fim de simular a força dos ventos e o apoio fixo em uma das extremidades, como mostra a figura 3.

Tabela 1 - Valores utilizados no software.

Figura 3 - Carregamento da pá de um aerogerador.

Resultados e Discussões

A análise linear do material no software obteve os seguintes resultados:

A) Resultado do deslocamento do compósito com configuração $90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ$, tendo como deslocamento máximo de 0,2206mm.

Figura 4 - Resultado da configuração $90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ$.

B) Resultado de deslocamento com compósito com configuração 90°_4 , tendo como resultado máximo de deslocamento 0,3230mm.

Figura 5 - Resultado da configuração 90°_4 .

Realizando o ensaio em laboratório, foi obtida a curva Força(N) X Deslocamento(mm). Com a força máxima de 2306,03N o deslocamento foi de 0,73728 mm.

Figura 6 - Gráfico Força x Deslocamento do ensaio em laboratório.

Como a configuração $90^\circ/0^\circ/0^\circ/90^\circ$ apresentou maior rigidez, as pá foram simuladas com essa configuração.

Figura 7 - Resultado de deslocamento da pá com Carbono/Epóxi

Figura 8 - Resultado de deslocamento da pá com Vidro/Epóxi

Figura 9 - Resultado de deslocamento da pá com Carbono/Poliéster

Figura 10 - Resultado de deslocamento da pá com Vidro/Poliéster

Tabela 2 - Comparação dos resultados de deslocamento das pás.

Os resultados de deslocamento evidenciam diferenças significativas entre as combinações de matriz e fibra analisadas. O laminado de epóxi/carbono apresentou o menor deslocamento (0,4782), associado também à menor deformação, confirmando sua excelente resistência mecânica e baixa densidade, ainda que com maior custo de aplicação. Já o compósito de epóxi/vidro apresentou um deslocamento moderado (0,7069), com equilíbrio entre propriedades mecânicas e densidade, mostrando-se uma alternativa de bom desempenho estrutural aliado a custo intermediário. No caso da combinação poliéster/carbono, o deslocamento (0,5889) ficou próximo ao do epóxi/vidro; entretanto, a baixa adesão entre a matriz poliéster e a fibra de carbono compromete a integridade a longo prazo, reduzindo sua viabilidade. Por fim, o compósito de poliéster/vidro exibiu o maior deslocamento (1,330) e a maior deformação, o que indica menor rigidez estrutural, embora seu baixo custo seja atrativo.

Conclusão

O resultado obtido de máximo deslocamento em b) foi superior que o de a), como já esperado, por se tratar de um laminado com uma única direção. Comparando a

simulação a) com o ensaio realizado em laboratório, nota-se que os valores não foram semelhantes. Como possível razão é preciso destacar o ensaio de impacto realizado previamente.

Com os resultados da simulação das pás de aerogerador, pode-se concluir que a matriz epóxi associada à fibra de carbono apresenta o melhor desempenho mecânico, sendo ideal para aplicações em que leveza e rigidez são prioritárias, como em pás de aerogeradores de grande porte. O epóxi/vidro surge como opção intermediária, equilibrando custo e desempenho, enquanto os compósitos com matriz poliéster, apesar da vantagem econômica, apresentam limitações em durabilidade e resistência, sendo mais indicados para aplicações secundárias ou de menor exigência estrutural.

Para concluir, pode-se destacar a relevância de fazer simulações de materiais compósitos. Durante a simulação, foi possível observar como diferentes configurações influenciam nas propriedades do compósito. Os resultados demonstram que a simulação é uma ferramenta valiosa para prever o desempenho do material. A comparação dos resultados com dados da literatura confirmou a validade do modelo.

Referências

- [1] AGARWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J.; CHANDRAKANT, T. Analysis and Performance of Fiber Composites. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2018.
- [2] CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. 10. ed. New York: Wiley, 2018.
- [3] CARNEIRO, Luiz Antonio Vieira; TEIXEIRA, Ana Maria Abreu Jorge. Propriedades e características dos materiais compósitos poliméricos aplicados na engenharia de construção. Tecnologia, [s. l.], p. 1-13, 28 nov. 2008. Disponível em: https://web.archive.org/web/20180410113944id_/http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_quad_2008/propr_caract_compostos_compositos.pdf. Acesso em: 29 ago. 2024.
- [4] HULL, D.; CLYNE, T. W. An Introduction to Composite Materials. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [5] IBERDROLA. Você sabe como os parques eólicos onshore funcionam?. O que é a energia eólica onshore, [S. l.], p. 1, 11 nov. 2022. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/como-funcionam-parques-eolicos-onshore#:~:text=A%20for%C3%A7a%20do%20vento%20faz%20girar%20as%20p%C3%A1s%20do%20aerogerador,a%20leva%20finalmente%20%C3%A0s%20resid%C3%A2ncias>. Acesso em: 4 set. 2025.
- [6] JONES, R. M. Mechanics of Composite Materials. 2. ed. Philadelphia: Taylor & Francis, 1999.

[7] MOREIRA, Anabela Mendes. Materiais compósitos. Instituto politécnico de Tomar, [S. l.], p. 1-12, 24 out. 2008. Disponível em: http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932__Compositos_MC1.pdf. Acesso em: 29 ago. 2024.

[8] SONELASTIC. Módulo de elasticidade de materiais compósitos típicos. Materiais compósito, [s. l.], p. 1, 28 jun. 2013. Disponível em: <https://www.sonelastic.com/pt/fundamentos/tabelas-propriedades-materiais/compositos.html>. Acesso em: 29 ago. 2024.

[9] ZANCHETTA, André. Materiais compósitos: Características, propriedades e aplicações. In: Materiais Compósitos. [S. l.], 27 jun. 2022. Disponível em: <https://graduacao.iqsc.usp.br/files/Materiais-Comp%C3%B3sitos-2.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2024.

Anexos



Figura 1 - Montagem do compósito.



Figura 2 - Carregamento do compósito.



Tabela 1 - Valores utilizados no software.



Figura 4 - Resultado da configuração 90°/0°/0°/90°.



Figura 5 - Resultado da configuração 90°4.



Figura 6 - Gráfico Força x Deslocamento do ensaio em laboratório.



Figura 3 - Carregamento da pá de um aerogerador.



Figura 7 - Resultado de deslocamento da pá com Carbono/Epóxi



Figura 8 - Resultado de deslocamento da pá com Vidro/Epóxi



Figura 9 - Resultado de deslocamento da pá com Carbono/Poliéster



Figura 10 - Resultado de deslocamento da pá com Vidro/Poliéster



Tabela 2 - Comparação dos resultados de deslocamento das pás.

CÓDIGO: ET1576

AUTOR: EXPEDITO ARTHUR MEDEIROS BRAGA

ORIENTADOR: FERNANDA BARRETO DE ALMEIDA ROCHA MARIZ

TÍTULO: Aplicação da Teoria das Restrições (TOC) em ambientes make to order (MTO): uma revisão sistemática da literatura

Resumo

A intensa competitividade e a crescente demanda por produtos customizados forçaram as empresas a migrarem de modelos de produção em massa para estratégias mais flexíveis, como a make to order (MTO). Contudo, a gestão de sistemas MTO apresenta desafios como longos lead times, altos níveis de trabalho em processo (WIP) e dificuldade no cumprimento de prazos. Nesse contexto, a Teoria das Restrições (TOC) surge como uma filosofia de gestão promissora. Este trabalho tem como objetivo analisar as contribuições da aplicação da Teoria das Restrições na gestão de ambientes make-to-order por meio de uma revisão sistemática da literatura. A pesquisa foi estruturada nas etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, resultando na análise de 48 artigos. Os resultados indicam que a literatura se concentra nos três primeiros passos da TOC (identificação, exploração e subordinação da restrição), principalmente em ambientes de manufatura do tipo job shop, utilizando a simulação como principal método de avaliação. Os principais benefícios reportados são a redução do lead time e do WIP, e a consequente melhora no desempenho de entrega. Os maiores desafios encontrados são a identificação e gestão de gargalos, especialmente os móveis, e a alta variabilidade da demanda e dos processos. Conclui-se que a TOC oferece um suporte robusto para aprimorar a eficiência operacional em sistemas MTO.

Palavras-chave: Teoria das restrições. TOC. Make to order. MTO. Revisão sistemática.

TITLE: Application of the Theory of Constraints (TOC) in on-demand environments (MTO): a systematic literature review

Abstract

Intense competition and the growing demand for customized products have forced companies to migrate from mass production models to more flexible strategies, such as make-to-order (MTO). However, managing MTO systems presents challenges like long lead times, high levels of work-in-process (WIP), and difficulty in meeting deadlines. In

this context, the Theory of Constraints (TOC) emerges as a promising management philosophy. This paper aims to analyze the contributions of applying the Theory of Constraints in the management of make-to-order environments through a systematic literature review. The research was structured into identification, screening, eligibility, and inclusion stages, resulting in the analysis of 48 articles. The results indicate that the literature focuses on the first three steps of TOC (identifying, exploiting, and subordinating the constraint), primarily in job shop manufacturing environments, using simulation as the main evaluation method. The main reported benefits are the reduction of lead time and WIP, and the consequent improvement in delivery performance. The biggest challenges encountered are the identification and management of bottlenecks, especially mobile ones, and the high variability of demand and processes. It is concluded that TOC offers robust support for enhancing operational efficiency in MTO systems.

Keywords: Theory of Constraints. TOC. Make to order. MTO. Systematic review.

Introdução

Segundo Fernandes e Godinho (2010), houveram 4 (quatro) grandes evoluções dos sistemas de produção ao longo da história. Primeiramente surgiu o sistema de produção antigo, desenvolvido pelos povos antigos. Em seguida, veio o sistema de produção feudal. O sistema europeu foi a terceira grande evolução, com início em meados do ano 1300, mas com suas grandes transformações ocorrendo a partir da Revolução Industrial, por volta de 1700. Por fim, o sistema americano, inicialmente planejado para uma produção em larga escala, com alto volume de estoque, denominado por Sipper e Bulfin (1997) como sistema de produção orientado à produção, caracterizado por ser um sistema em que tudo o que era produzido era vendido, sem que o consumidor tivesse qualquer influência no processo produtivo.

Contudo, de acordo com Fernandes e Godinho (2010), com a modernização e as grandes transformações que ocorreram tanto no comportamento dos consumidores quanto em suas necessidades, o cenário industrial contemporâneo é marcado por uma intensa competitividade e pela crescente demanda por produtos customizados, forçando as empresas a migrarem de modelos de produção em massa para estratégias mais flexíveis iniciando-se assim a era do sistema de produção orientado não mais à produção, mas ao mercado consumidor. Nesse contexto, a estratégia de resposta à demanda make to order (MTO) tem ganhado destaque como uma resposta estratégica às exigências de um mercado volátil, lidando intrinsecamente com alta variedade, baixos volumes e roteiros de produção complexos e não repetitivos.

A gestão de sistemas MTO, no entanto, apresenta desafios operacionais significativos. A alta variabilidade na demanda e nos tempos de processamento, somada à complexidade dos fluxos de trabalho, frequentemente resulta em longos e instáveis lead times, altos níveis de trabalho em processo (WIP), dificuldade no cumprimento dos prazos de entrega e baixa utilização de recursos. Ferramentas tradicionais de Planejamento e Controle da Produção (PCP), muitas vezes desenvolvidas para ambientes de produção em massa (make to stock), mostram-se insuficientes para gerenciar eficientemente essa complexidade, criando a necessidade de abordagens de gestão mais robustas e sistêmicas.

Conforme Souza (2005), diante desse panorama, a Teoria das Restrições (TOC), desenvolvida pelo Dr. Goldratt, surge como uma poderosa filosofia de gestão pautada

na crença fundamental de que todo sistema constituído com uma meta definida deve possuir ao menos um componente - “gargalo” ou “restrição” - que limita seu desempenho em relação àquela meta, pois, se assim não fosse, a empresa teria uma lucratividade infinita. Através de seu mecanismo de programação e controle, conhecido como Tambor-Pulmão-Corda (DBR), a TOC propõe uma lógica de sincronização do fluxo produtivo ao ritmo do recurso gargalo, buscando maximizar a vazão do sistema, reduzir o inventário e garantir as entregas no prazo. A simplicidade conceitual e o foco sistêmico da TOC a tornam uma candidata promissora para a gestão de ambientes MTO.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar as contribuições da aplicação da Teoria das Restrições e seus conceitos na gestão de ambientes make to order por meio de uma revisão sistemática da literatura. E seus objetivos específicos são: analisar a evolução ao longo dos anos das publicações relacionadas a TOC e MTO, identificar que conceitos e ferramentas da TOC são mais aplicadas na gestão de ambientes MTO, estudar quais os principais benefícios da TOC no desempenho operacional de sistemas MTO, explorar quais os desafios e barreiras enfrentadas na implementação da TOC em ambientes de alta variedade de produção, identificar quais indicadores de avaliação de desempenho têm maior recorrência nas aplicações da TOC em sistemas MTO, visando assim a contribuição tanto para o âmbito acadêmico quanto para o âmbito industrial, mediante o incentivo à consolidação da adoção da TOC em ambientes MTO.

Metodologia

Classificação da pesquisa

O estudo é uma revisão sistemática da literatura, que Sampaio e Mancini (2007) descrevem-a como uma forma de pesquisa que utiliza a literatura existente como fonte de dados para integrar informações sobre determinado tema. Esse tipo de estudo ajuda a identificar temas que precisam de evidência, auxiliando na orientação para investigações e pesquisas futuras.

Etapas da pesquisa

As diretrizes utilizadas no desenvolvimento da pesquisa tiveram como base o modelo elaborado por Tricco et al. (2018): Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR). O estudo foi estruturado por meio de quatro grandes etapas as quais segundo Tricco et al. (2018) são: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão.

Foram estabelecidas condições mínimas que deveriam ser atendidas para que os trabalhos pudessem ser incluídos na revisão, tais como:

1. Acesso;
2. Idioma, segmentando-se somente para artigos escritos em língua inglesa;
3. Tipo de documento, excluindo-se publicações como livros, capítulos de livros e revisões da literatura, mas abrangendo artigos de revista e publicações em anais de congressos;
4. Aplicação da TOC e/ou DBR, caracterizar-se minimamente como pesquisa aplicada dos conceitos da Teoria das Restrições e não apenas fazer uso do conceito de gargalo ou restrição do sistema;

5. Ambiente de alta variedade, sendo aplicado num contexto em que se há um alto nível de variedade nos processos produtivos analisados, semelhantes ao vistos em processos make to order.

A etapa de identificação foi realizada nas bases de dados Web Of Science e a Scopus, com 67 e 85 trabalhos identificados, respectivamente. Assim, um total de 152 artigos acessados a partir do portal de periódicos CAPES (<https://www.periodicos.capes.gov.br>) sem pré-determinação de intervalo de tempo. A seleção dos artigos se deu em torno de dois eixos principais: (I) Teoria das Restrições e (II) make to order. Ademais, a busca se deu por meio de agentes lógicos como “OR” - para unir termos semelhantes dentro de um mesmo eixo - e o “AND” - para segmentar os termos contidos dentro de cada eixo estudado, com a expressão de busca geral sendo: ““Theory of constraints” OR “TOC” OR “Drum buffer rope” OR “Drum-buffer-rope” OR “DBR” AND “Make to order” OR “make to order” OR “MTO” OR “High variety” OR “Job shop” OR “Jobshop” OR “Customized products”””.

Na etapa de triagem foram excluídos no total 73 trabalhos, sendo 49 dessas exclusões por serem duplicatas e os outros 24 por descumprirem pelo menos uma das cinco condições mínimas supracitadas. Onze foram excluídos pelo critério 2, pois são escritos em idiomas diferentes do inglês, três que têm características distintas das especificadas como notas técnicas, erratas, capítulos de livros e quatro revisões bibliográficas, foram excluídos pelo critério 3. Além de 16 artigos removidos pelo critério 1, também foram excluídos cerca de cinco trabalhos pelos critérios 4 e 5, pois fogem totalmente do escopo da presente revisão que por quaisquer motivos tenham entrado na identificação através das palavras-chaves selecionadas.

Na fase de elegibilidade, houve a necessidade de efetuar mais 16 exclusões por ter sido identificado que são trabalhos que fogem do escopo - descumprindo os itens 4 e/ou 5 dos critérios de inclusão. Na última etapa, a de inclusão, foram incluídos para serem analisados na revisão um total de 48 artigos.

Diante disso, tendo todos os artigos identificados, triados, elegidos e incluídos na revisão foram analisados os seguintes aspectos:

- Segmentação da(s) aplicação(ões): analisar qual o setor de mercado da empresa em que se teve o trabalho realizado;
- Tipo(s) de origem(ns) de dado(s): identificar se os dados eram teóricos ou reais;
- Tipo de estudo: os trabalhos foram divididos em:
 - Proposições de atualizações e melhorias de conceitos já existentes da TOC/DBR;
 - Avaliações do desempenho da TOC e/ou do DBR;
 - Comparações entre a TOC ou DBR com outros métodos como Workload Control (WLC) ou Material Requirement Planning (MRP);
 - Implantação: trabalhos em que há a implantação prática da TOC ou DBR em uma linha de produção real.
- Método(s) de análise(s): identificar quais os meios de análise utilizados nos trabalhos, como por exemplo modelagem matemática, simulações computacionais e análises estatísticas;
- Ambiente(s) de produção: avaliar qual o tipo de ambiente de produção descrito explicitamente ou através de uma análise descritiva das etapas dos processos produtivos presentes no texto, podendo ser um ambiente flow shop, job shop ou outros;

- Fase(s) da TOC aplicada(s): identificar e avaliar criticamente quais das cinco etapas de focalização da TOC são postas em prática ao longo dos artigos;
- Dimensionamento do pulmão e buffer management (BM): identificar em quais casos houveram e como se deu o dimensionamento do pulmão, e ainda se há gerenciamento dele com aplicações tradicionais do BM ou alguma variação desse modelo;
- Desafio(s) e dificuldade(s) para implantação: avaliar quais os principais problemas encontrados que acarretou na dificuldade da implantação efetiva ou conceitual do DBR/TOC;
- Ganho(s) com a aplicação prática ou dos conceitos: analisar as contribuições indicadas por meio de relatos qualitativos ou metrificadas quantitativamente;
- Indicador(es) de avaliação de desempenho: listar e observar a recorrência dos indicadores de desempenho, para medição dos impactos da TOC e/ou DBR nos trabalhos.

Resultados e Discussões

De forma geral, os artigos ao longo dos anos não apresentam uma constante de crescimento, havendo muitas flutuações e variações quanto à quantidade em cada ano. Sendo o artigo mais antigo o #128, escrito em 1997 e que estuda através de simulação o impacto da revisão, liberação de pedidos e divisão de lotes em DBR numa indústria de alicates eletrônicos. Os trabalhos mais recentes foram escritos em 2023, #15, #17, #27 e #37, ano este que junto de 2010 são os com maior volume de escrita, indicando que o tema continua mais do que tudo sendo um tema atual, ativo e relevante. Dentre os pesquisadores mais frequentes há Kasemset com 5 artigos escritos, seguida de Thürer e Lizarralde com 4 estudos cada, e por fim, Stevenson com 3 trabalhos.

Segmentação da(s) aplicação(ões)

Em relação aos segmentos de mercado estudados, a análise da amostra demonstra uma forte predominância de aplicações da TOC sem que haja referência a um setor específico. A maior parte dos estudos se restringem a somente definir o ambiente analisado como processo de manufatura. Pode-se citar os trabalhos #4, #17, #20, #21, #22, #24, #25, #27, #32, #46, #48, #51, #54, #55, #56, #58, #62, #65, #67, #73, #80, #81, #83, #84, #125, #129 e #130 com essa característica. Porém, há estudos que investigam indústrias específicas como a de semicondutores, tais como: #145, #6, #10, #39 e #44, sendo este setor o que possui maior volume de artigos, 6 (seis) ao todo; a indústria automotiva com 4 (quatro) artigos, #71, #146, #72 e #75; a usinagem de alta precisão com 3 (três), #28, #36 e #37; marítima com 2 (dois), #33 e #42; e em menor escala com 1 (um) artigo cada, indústrias siderúrgicas #79; de caldeiras industriais #2; material refratário #43, de montagem #15; de fabricação de alicates eletrônicos #128. Há um caso especial em que um único artigo lida com 6 (seis) empresas com diferentes características de produção, sendo explicitado somente a segmentação de uma dessas 6 (seis) que é do ramo automotivo #78.

Tipo(s) de origem(ns) de dado(s)

Neste quesito, observa-se que a maior parte dos artigos que explicitaram um setor de aplicação, utilizaram dados reais. Dos 20 (vinte) artigos em que se houve a segmentação

do tipo de indústria, 85% (oitenta e cinco por cento), ou seja, 17 (dezessete) deles utilizam dados reais na construção do trabalho, outros como #79, #15 e #44 utilizam dados teóricos simulados, porém com parametrização e base realista. Enquanto que nos 29 (vinte e nove) artigos que se propuseram em construir trabalhos sem especificação setorial, a origem dos dados é totalmente teórica. Em alguns estudos os dados remetem informações de outros trabalhos como #65, #81 e #129. Observou-se que alguns não explicitam de nenhuma forma a origem dos dados #24 e #25 e outros até que sequer utilizam dados #21, que propõem um modelo de planejamento e controle da produção híbrido, com aplicação de conceitos do WLC e TOC.

Tipo de estudo

No tocante ao tipo de estudo realizado se sobressai a classe de proposições com 23 (vinte e três) trabalhos, representando quase 48% (quarenta e oito por cento) da amostra, seguido de comparações com 12 (doze), avaliações com 11 (onze) e por último, implantação com apenas 2 (dois) trabalhos. Dentre os trabalhos de proposições, existem aqueles que visam a elaboração de métodos para identificação de gargalos #80, #81 e #46; planejamento, programação, gestão e controle da produção #4, #6, #10, #21, #25, #27, #39, #42, #44, #51, #67, #71, #72, #79, #125 e #146; criação de medidas de desempenho baseadas na TOC #55; elaboração de um método alternativo que aprimora o desempenho do sistema S-DBR #73; idealizações de algoritmos #78; e modelo matemático para implementação da TOC em ambiente job shop #56. Dentre as comparações destacam-se os trabalhos que comparam o desempenho do DBR com outros métodos como o CONWIP, WLC, Kanban, MRP #20, #24 e #130; aqueles que compararam distintos meios de planejar, programar, gerir e controlar a produção #22, #17, #48, #54, #58, #62 e #84; outros que comparam diferentes métodos para detecção de gargalos #32; e um que compara os resultados obtidos em versões distintas do mesmo software de aplicação da TOC #129. Já as avaliações têm como base a premissa de realizar análises de aspectos que influenciam no comportamento do DBR ou de empresas geridas com base na TOC e nos seus respectivos processos internos #2, #15, #28, #33, #43, #60, #65, #75, #83, #128 e #145. Por fim, as implantações são 2 (dois) trabalhos que dialogam entre si, sendo #37 a continuação da aplicação da TOC iniciada em #36 numa indústria de usinagem de alta precisão.

Método(s) de análise(s) e software(s)/ferramenta(s) utilizado(s)

Nos métodos de análises vistos há um certo equilíbrio em termos de quantidade entre os trabalhos que utilizaram modelagem com 21 (vinte e um) artigos, e aqueles que utilizaram simulação com 19 (dezenove), representando quase 44% (quarenta e quatro por cento) e 40% (quarenta por cento), respectivamente, cabendo salientar que por vezes nos trabalhos são realizadas análises estatísticas como análise de variância (ANOVA) e Test T, de modo complementar ao que foi elaborado no método de análise principal (modelagem ou simulação) do estudo. Além de 3 (três) artigos que abordam estudos de caso, há ainda artigos com análises estatísticas e pesquisa-ação, ambos com apenas um trabalho. Os 3 (três) trabalhos #129, #42 e #21 são tidos como indefinidos, pois, o primeiro se trata de uma comparação entre as versões do software Goal System 1.0 e 2.2, o segundo é uma proposição de um sistema híbrido entre MRP e TOC, e o terceiro trata sobre a proposição de um modelo dinâmico de planejamento e controle da produção híbrido com conceitos de WLC e TOC para ambientes de produção mistos (MTS/MTO).

Ambiente(s) de produção

Dos 48 (quarenta e oito) artigos estudados, 31 (trinta e um) são aplicados em um ambiente job shop, representando pouco mais de 64% (sessenta e quatro por cento), com um deles em específico, #128, sendo explicitamente aplicado num job shop híbrido, ambiente que mescla conceitos dos dois ambientes já que conta com características também do flow shop. 12 (doze) artigos são aplicados em um ambiente flow shop, enquanto que 3 (três) artigos #32, #20 e #58 se utilizam dos dois tipos de ambientes, pois fazem uma comparação entre ambos. E por fim, há aqueles artigos que não deixam explícito qual o tipo de ambiente utilizado como visto em #42 e #21.

Fase(s) da TOC aplicada(s)

Há uma clara predominância de quais fases da TOC são mais utilizadas, a literatura concentra-se majoritariamente nos 3 (três) primeiros passos: (I) identificação da restrição, (II) exploração da restrição e (III) subordinação do sistema à restrição, sendo temas centrais em grande parte dos trabalhos que lidam com avaliações como tipo de estudo. Os passos subsequentes como a (IV) elevação e a (V) melhoria contínua são menos abordados, aparecendo pontualmente em artigos que aplicam-nos em um contexto de aplicação à longo prazo. Existem alguns casos específicos como #2 e #44 que analisam o resultado da implantação do DBR realizada anteriormente numa empresa de caldeiras industriais e numa indústria de semicondutores, respectivamente. Por fim, há estudos em que as primeiras duas fases da TOC foram realizadas em outro trabalho e a pesquisa se remete somente a discussão da terceira etapa #37.

Dimensionamento do pulmão e buffer management (BM)

São 23 (vinte e três) trabalhos em que se teve a adoção explícita do uso do pulmão, quase cerca de 48% (quarenta e oito por cento), dentre eles estão aqueles que utilizam experimentações e testagens como em #4 através da utilização do método Taguchi, no qual foram testados 3 diferentes níveis de buffer para cada tipo de produto; #20 dimensionou os pulmões por número de ordens por meio de simulação de experimentos realizada previamente, obtendo os valores de 9 (nove) a 15 (quinze) ordens simultâneas em processo no gargalo; em #48 o pulmão foi dimensionado com a variação do número de ordens na fila até encontrar o melhor desempenho. Quando a regra “First-Come,First-Served” (FCFS) - primeiro a chegar, primeiro a sair - foi usada, o tamanho do pulmão foi 10 (dez) e quando a regra Shortest Processing Time (SPT) - que prioriza as tarefas com menor tempo de processamento - foi usada, o tamanho do pulmão foi 16 (dezesesseis). #17 dimensionou arbitrariamente através de testes na simulação realizada no software AnyLogic, sem a existência de modelos analíticos e definindo 2 (dois) níveis de pulmão de produção: 50% de proteção ao lead time nos cenários ímpares e 25% nos cenários pares. Outros trabalhos utilizam pulmões fixos definidos de maneira arbitrária como em #10 e #56, sendo o primeiro utilizado o pulmão de tempo de duas horas por estação e no segundo não se utiliza a definição de pulmão de forma restrita e sim o conceito de “lote de transferência” com tamanho mínimo fixado em uma unidade. #2 utiliza pulmões de tempo antes e depois do tambor, mas sem o detalhamento da fórmula do dimensionamento, assim como #129 também não detalha o cálculo, pois é próprio do Goal System, software de código fechado. #145 e #6 utilizam variações do pulmão tradicional do DBR, no primeiro chama-se de pulmão de tempo agregado, sendo dimensionado com base num método da Gestão de Projetos de Corrente Crítica (CCPM), onde o pulmão total para um lote é a diferença entre a data de entrega prometida e a data em que há 50% de chance do lote ser concluído, no qual a data de

entrega prometida é calculada como a multiplicação do tempo de processamento pela constante baseada em dados históricos (definida como 3,8), somada à data de liberação, e o cálculo da data de 50% de conclusão é estimada usando o método JIQ (Jobs In Queue). E em #6, para o mecanismo de liberação de ordens, emprega-se uma abordagem que define um tempo de pulmão (S) na frente do gargalo, calculado como a multiplicação entre o tempo máximo de processamento de qualquer produto desde a liberação até o gargalo e o número de estações de trabalho gargalo. #36 dimensionou por meio da análise da capacidade e da carga de trabalho ao longo de 5 meses, comparando a carga com a capacidade instalada nos diferentes centros da empresa. Em #79, na modelagem matemática, o pulmão foi definido como infinito. Por fim, há aqueles trabalhos em que utilizam dimensionamentos oriundos de outros trabalhos como #15, #37, #60 e #75, que definiram os pulmões com base em Thürrer, Fernandes e Stevenson (2021), Lizarralde (2020), Schragenheim e Ronen (1990) e Spencer e Cox (1995), respectivamente. O cálculo de dimensionamento de #60 é a soma entre o tempo de setup e o tempo de processamento, multiplicada por 5 (cinco), já em #75, divide o prazo de entrega pela metade, usando uma parte para o pulmão de restrição e a outra parte para o pulmão de estoque, como o prazo de entrega era 61 (sessenta e uma) unidades, ficou 30,5 (trinta vírgula cinco) para cada pulmão. Observou-se ainda que dos 48 (quarenta e oito) trabalhos, 15 (quinze) utilizam o conceito de buffer management (gerenciamento do pulmão) integralmente ou de forma parcial, seja por meio do uso tradicional do semáforo verde, amarelo e vermelho #37, #4, #73, e #145; ou com adaptações para uma melhor adequação ao contexto analisado como em #2, que gerenciou através do monitoramento contínuo dos pulmões para definir as prioridades conforme havia o consumo; #17, gerenciou através da segmentação entre pedidos regulares e pedidos urgentes; #48, aplicou um gerenciamento com base no modelo de Schragenheim e Ronen (2012), dividindo o pulmão em 3 (três) zonas indo da prioridade alta até a baixa: zona 1 (um), que requer expedição imediata; zona 2 (dois), os pedidos estão um pouco atrasados, mas não requer nenhuma agilização; e zona 3 (três), situação normal; e #72, definiu 4 (quatro) zonas para o buffer: ignorada, alerta, congelada e rearranjo.

Desafio(s) e dificuldade(s) encontradas

De maneira geral, os principais desafios elencados tratam diretamente sobre às múltiplas restrições/gargalos nos processos #67, #56, #71, #39, #51, #73, #146, #62, #58, #48, #129, #83 e #65. Uma outra grande adversidade encontrada diz respeito a extrema dificuldade em lidar com situações de ambientes complexos e instáveis, como na identificação e gestão correta dos gargalos em situações de operações dinâmicas em que eles, os gargalos, são móveis #81, #72, #71, #27, #78, #75 e #28. Outros problemas encontrados são a existência de trade-off entre os indicadores de desempenho #56 e #130; operações com fluxos reentrantes #79 e #145; e até mesmo aspectos organizacionais como a mudança de mentalidade dos funcionários #55. #37 menciona que no caso da empresa estudada, antes da implementação, os problemas eram excesso de estoque de difícil controle, longos lead times e baixos níveis de serviço, causados pela otimização local em vez da otimização global do sistema. Nos trabalhos que utilizam como método de análise a modelagem matemática, uma grande dificuldade encontrada foi a alta complexidade e custo computacional para resolução ótima dos modelos de programação que lidam com problemas do tipo NP-hard #125, #46 e #78. Contudo, há diversos artigos que sequer mencionam de maneira explícita quais aspectos dificultaram o andamento dos trabalhos #33, #10, #17, #21, #22, #24, #25 e #128.

Ganho(s) com a aplicação prática ou dos conceitos

Quanto aos principais ganhos identificados ao longo das leituras, de forma geral é possível identificar as melhorias nos indicadores como fator principal e predominante ponto dentre os benefícios obtidos, como a redução de WIP, Makespan, lead time, taxa de ociosidade, custo total, atrasos nas entregas, entre outros tantos indicadores que terão suas devidas recorrências apresentadas no tópico a seguir. Sobretudo nos trabalhos em que houveram implantações, como em #36, quantitativamente houveram reduções no lead time em 50%, no número de ordens de compra em aberto em 20%, no prazo de entrega em 10%, no WIP em 20%, no volume de material semi-finalizado em processo em 40%, nos incidentes relacionados à qualidade em 20% e nas operações terceirizadas. Além também do aumento no nível de serviço de 50% para 70%. Já em #37, que é a continuação do que se foi idealizado no estudo #36, não apresenta resultados quantitativos, porém o tipo de ganho especificado pelo estudo é a integração do planejamento de vendas e operações (S&OP) e a introdução do conceito de pulmão de capacidade para garantir a estabilidade do sistema. Nos trabalhos #46, #51, #58, #67, #80 e #81, o principal ganho apresentado diz respeito à diminuição do custo e do tempo computacional para a solução das modelagens matemáticas apresentadas nos estudos. Já nas comparações como em #15 que analisa o impacto da dinamicidade no planejamento do lead time, quando se comparado ao MRP o OPT garante uma maior estabilidade no WIP do processo; em #30, trabalho no qual se estuda a aplicação do MRP, Kanban, CONWIP e DBR sob condições estocásticas em um sistema de produção multi-item e multinível, o DBR se comparado às outras estratégias, oferece uma boa relação entre nível de serviço e WIP, robusto em ambiente com variabilidade moderada e com performance consistente, embora não seja o melhor em todos os cenários avaliados.

Indicador(es) de avaliação de desempenho

Dado o fato de se ter 73 indicadores distintos, essencialmente realizou-se agrupamentos e subagrupamentos, quando necessário, entre os indicadores visando a organização e facilitação acerca do entendimento sobre as suas respectivas recorrências nos trabalhos. Para isso, no Apêndice A está disponibilizada a tabela contendo todos os agrupamentos e subagrupamentos detalhadamente, seus respectivos indicadores, número de aparições e os artigos nos quais eles aparecem. O grupo um, de indicadores de tempo, teve ao todo 66 aparições e foi subdividido em três níveis: o primeiro - 27 ocorrências - reúne aqueles que tratam sobre o tempo total do ciclo produtivo como o lead time/lead time médio, tempo de ciclo/tempo médio de ciclo, tempo de fluxo/tempo médio de fluxo, makespan, Throughput Time (tempo de vazão), prazo de fabricação, tempo total médio de um pedido no sistema. O segundo nível - oito ocorrências - diz respeito aos indicadores que compõem o tempo de ciclo como: o tempo médio de processamento, tempo de setup, tempo de fila de lotes, tempo de pool, tempo de liberação de matéria prima, tempo ocioso, tempo de fluxo médio até o gargalo e a soma do tempo de processamento. Por fim, o terceiro nível - 31 aparições - trata sobre os indicadores de variabilidade e desempenho temporal como: o atraso médio (tardiness), desvio padrão do atraso, atraso máximo, atraso ponderado total, total de dias de atraso, antecipação média, antecipação máxima, variação geral do tempo de ciclo do lote, variância no atraso médio e o desvio padrão do tempo de fluxo médio até o gargalo. No grupo dois, que reúne os indicadores de eficiência, capacidade e utilização, assim como no grupo um também temos três subgrupos que totalizam 20 ocorrências: o primeiro - seis aparições - aborda a utilização de recursos contendo indicadores como nível de

utilização/taxa de utilização/fator de utilização/taxas de utilização de recursos, taxa de ociosidade e soma da sobrecarga; no segundo subgrupo - sete aparições - temos indicadores de fluxo e produtividade como Throughput (taxa de transferência), taxa média de produção, taxa máxima de produção e taxa de fluxo de valor; por fim, temos os indicadores de desempenho e eficácia global no terceiro grupo - sete ocorrências - sendo eles: Overall Equipment Effectiveness (OEE), taxa de performance, índice de desempenho relativo, taxa de intensidade de trabalho e a taxa de robustez. No terceiro grupo, que conta com 19 aparições ao todo, estão os indicadores de inventário e fluxo de materiais: Work In Process (WIP), volume de material semi-finalizado, nível de estoque, estoque e número de produtos acabados. O quarto grupo, com 25 recorrências ao todo, e tendo os indicadores de atendimento ao cliente e nível de serviço subdividido em dois grupos: o de pontualidade e conformidade na entrega, e o de disponibilidade e escassez. O primeiro - 19 aparições - conta com os indicadores de On-Time Delivery (OTD) - entrega no prazo/pontualidade na entrega, Due-Date Performance (DDP), Confirmed Line Item Performance (CLIP), Built-to-Schedule e a porcentagem de pedidos atrasados; o segundo - seis aparições - vem com nível de serviço, Shortage (escassez)/percentual de escassez, Program Shortage/Cumulative Capacity Shortage/Weeks with Capacity Shortage, Available-to-Promise (quantidade total de capacidade disponível para promessa). O grupo número cinco traz os indicadores financeiros e de custo, totalizando oito aparições, são eles: Custo total, despesa operacional, lucro líquido, lucratividade, Return on Investment (ROI) - retorno sobre o investimento - e fluxo de caixa. Indicadores de demanda e entrada são os que compõem o sexto grupo com taxa de chegada de pedidos, tempo entre chegadas entre os lotes, tamanho do lote de chegada, média de pedidos e taxa de pedidos aceitos, totalizando cinco ocorrências. O sétimo grupo é composto apenas pelo indicador de qualidade, incidentes relacionados à qualidade, com uma única aparição. O grupo oito com duas aparições, refere-se aos indicadores de suprimentos, como número de ordens de compras em aberto e o número de operações terceirizadas. Indicadores de acurácia de previsão, com viés estatístico tiveram ao todo quatro ocorrências, formando o nono grupo composto pelo erro absoluto médio (Mean Absolute Error), o erro quadrático médio (Mean Squared Error), a raiz do erro quadrático médio (Root Mean Squared Error) e o erro percentual absoluto médio (Mean Absolute Percentage Error). Por fim, o décimo e último grupo é composto pelos indicadores de sistema computacional como o tempo computacional, latência média e máxima, que constituem sete aparições ao todo.

Conclusão

O presente estudo realizou uma revisão sistemática da literatura sobre a aplicação da TOC em ambientes de produção MTO, com o objetivo de consolidar o conhecimento sobre as ferramentas, benefícios e desafios de sua implementação num ambiente de alta variedade. A análise dos artigos permitiu confirmar que a TOC, como base fundamental do DBR, se mostra uma abordagem robusta e eficaz para gerenciar a complexidade inerente aos sistemas de produção sob encomenda.

Foi identificado que os trabalhos são focados nos três primeiros passos de focalização: identificação, exploração e subordinação à restrição. A aplicação se concentra majoritariamente em ambientes de manufatura do tipo job shop, com casos específicos aplicados em ambientes flow shop, utilizando a simulação como principal método de avaliação. A análise da evolução da literatura mostra uma crescente complexização nos

estudos, que migraram de validações conceituais para a integração com outras metodologias e o uso de ferramentas avançadas para resolver problemas mais complexos.

Os principais benefícios, consistentemente reportados na literatura, alinham-se diretamente com os desafios dos sistemas MTO. A redução do lead time e do WIP são os ganhos mais vistos, resultando diretamente em uma melhora significativa no desempenho de entrega, um fator crítico para a competitividade neste setor.

Adicionalmente, a exploração eficaz do gargalo leva a um aumento da vazão, impactando positivamente na capacidade produtiva e na lucratividade.

A pesquisa também evidenciou que a implementação da TOC e de seus conceitos não é trivial e enfrenta barreiras significativas, sendo a principal dificuldade apontada na literatura, a correta identificação e gestão do gargalo, um desafio amplificado em ambientes MTO pela presença dos gargalos móveis. A alta variabilidade da demanda e dos processos, característica intrínseca da produção sob encomenda, impõe um obstáculo adicional, tornando o dimensionamento dos pulmões de tempo e a estabilização do fluxo tarefas complexas. Além dos desafios técnicos, barreiras organizacionais como a resistência cultural à mudança e a dificuldade em alinhar as métricas de desempenho locais com a visão sistêmica da TOC também foram identificadas como pontos críticos que podem comprometer o sucesso da aplicação. Portanto, conclui-se que a TOC oferece um suporte robusto que contribui firmemente para a aprimoração da eficiência operacional nos sistemas MTO. Recomenda-se que pesquisas futuras possam se aprofundar cada vez mais na aplicação de modelos preditivos para a identificação e gestão de gargalos móveis, na integração da TOC com as tecnologias da Indústria 3.0, e especialmente explorando novas fronteiras para a otimização de ambientes de produção de alta variedade através do uso de inteligência artificial.

Referências

FERNANDES; Godinho Filho. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO: dos fundamentos ao essencial. São Paulo: Atlas, 2010.

JORGE, Miguel Oliveira Fernandes; MARQUES, Luís Fernando Moraes. MODELO DE PRODUÇÃO MAKE-TO-ORDER: Desafios da Gestão da Produção. 2010. [s.l].

SAMPAIO, R. F., & MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: Uma guia para síntese criteriosa da evidência científica. Revista Brasileira de Fisioterapia, 11, 89. 2007.

SIPPER, D.; BULFIN, R. L. Jr. PRODUCTION: Planning, Control, and Integration. New York: McGraw-Hill, 1997.

SOUZA, F. B. Do OPT à Teoria das Restrições: avanços e Mitos. Revista Produção, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 184-197, Maio/Agosto 2005.

TRICCO, A. C. et al. PRISMA extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. Annals of internal medicine, v. 169, n. 7, p. 467–473, 2018.

Observação: o restante das referências, sobretudo as utilizadas nas análises presentes nos resultados e discussões estão listadas em um quadro disponibilizado em anexo.

Anexos



Lista de referências e seus códigos

CÓDIGO: ET1578

AUTOR: SOPHIA MARTINS PEREIRA

ORIENTADOR: EDUARDO LINS DE BARROS NETO

TÍTULO: Desenvolvimento e Otimização de Processos de Pirólise para Produção Sustentável de Biocombustíveis e Produtos Químicos

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a otimização de processos de pirólise para a produção de biocombustíveis líquidos a partir de diferentes matérias-primas de origem renovável. Foram realizadas quatro bateladas experimentais utilizando óleo de algodão, capim-elefante, carvão e hidróxido de cálcio como catalisador. O processo foi conduzido em reator em regime de batelada, sob atmosfera inerte de nitrogênio, com monitoramento de pressão e temperatura. Os produtos condensados foram analisados quanto ao rendimento e à composição, com ênfase na presença de hidrocarbonetos, fundamentais para a qualidade do biocombustível. Os resultados evidenciam que o uso de catalisador e carvão influencia diretamente no rendimento e na proporção de hidrocarbonetos formados, indicando a relevância da escolha das condições reacionais para otimizar a produção de combustíveis renováveis.

Palavras-chave: Pirólise; Biocombustíveis; Hidrocarbonetos; Biomassa; Catálise.

TITLE: Development and Optimization of Pyrolysis Processes for the Sustainable Production of Biofuels and Chemicals

Abstract

This work presents the development and optimization of pyrolysis processes for the production of liquid biofuels from different renewable raw materials. Four experimental batches were carried out using cottonseed oil, elephant grass, charcoal, and calcium hydroxide as a catalyst. The process was conducted in a batch reactor under an inert nitrogen atmosphere, with pressure and temperature monitoring. The condensed products were analyzed in terms of yield and composition, with emphasis on the presence of hydrocarbons, which are fundamental for biofuel quality. The results show that the use of catalyst and charcoal directly influences the yield and the proportion of hydrocarbons formed, highlighting the relevance of selecting appropriate reaction conditions to optimize the production of renewable fuels.

Keywords: Pyrolysis; Biofuels; Hydrocarbons; Biomass; Catalysis.

Introdução

A crescente demanda energética mundial e as preocupações ambientais relacionadas ao uso de combustíveis fósseis impulsionam o desenvolvimento de alternativas renováveis, como os biocombustíveis. Entre os diversos processos termoquímicos empregados para converter biomassa em energia, a pirólise destaca-se pela capacidade de produzir bio-óleo rico em hidrocarbonetos, gases combustíveis e carvão sólido, em condições de ausência de oxigênio [1,2].

Do ponto de vista químico, a pirólise promove a quebra das longas cadeias orgânicas presentes na biomassa, como triglicerídeos em óleos vegetais e celulose, hemicelulose e lignina em materiais lignocelulósicos. Durante o aquecimento, essas macromoléculas sofrem reações de despolimerização, craqueamento térmico, descarboxilação e desidratação, resultando em moléculas menores, como hidrocarbonetos, álcoois, cetonas e ácidos orgânicos [3]. Os hidrocarbonetos são os compostos de maior interesse, pois concentram energia nas ligações C–H e C–C, garantindo alto poder calorífico ao biocombustível [1].

A presença de oxigênio na biomassa, entretanto, leva à formação de compostos indesejados, como ácidos carboxílicos e fenóis, que reduzem a estabilidade e a qualidade do bio-óleo [3]. Para contornar esse problema, catalisadores básicos como o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) são utilizados. Esse catalisador atua neutralizando ácidos formados e promovendo reações como descarboxilação (eliminação de CO_2) e desidratação (eliminação de H_2O), favorecendo o aumento relativo da fração de hidrocarbonetos [4].

Outro aspecto essencial é a utilização de gases inertes, como o nitrogênio, que cria uma atmosfera livre de oxigênio no reator. Isso evita a combustão dos compostos formados e auxilia no transporte dos vapores até o sistema de condensação, permitindo a coleta seletiva do bio-óleo [2].

Dessa forma, a pirólise constitui uma rota promissora para a produção de combustíveis líquidos renováveis. O presente trabalho busca investigar o efeito do uso de diferentes matérias-primas e condições experimentais no processo de pirólise, com foco no rendimento e na presença de hidrocarbonetos nos produtos obtidos.

Metodologia

Produção do biocombustível líquido

A produção do combustível líquido foi realizada por meio do processo de pirólise, caracterizado pela decomposição térmica da biomassa em ausência de oxigênio. Foram conduzidas diversas bateladas utilizando diferentes matérias-primas previamente

tratadas, tais como óleo de algodão, capim-elefante e o carvão, em combinação com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), este que foi usado como agente catalisador. Além disso, o nitrogênio foi utilizado como gás inerte para promover a remoção do oxigênio presente no reator, prevenindo a ocorrência de combustão indesejada.

As reações foram conduzidas ao longo do mês de abril de 2025, em regime de batelada, conforme descrito a seguir:

1ª batelada: 15 g de carvão, 75 mL de óleo de algodão e 3 g de hidróxido de cálcio;

2ª batelada: 75 mL de óleo de algodão e 3 g de hidróxido de cálcio;

3ª batelada: 15 g de carvão e 75 mL de óleo de algodão;

4ª batelada: 15 g de capim-elefante e 75 mL de óleo de algodão.

Após a adição dos reagentes no reator e homogeneização adequada, o sistema foi lacrado e inertizado com nitrogênio, de modo a eliminar o oxigênio residual. Em seguida, o aquecimento foi acionado em conjunto com a agitação interna. O processo foi conduzido por aproximadamente 1 h e 30 min, durante a primeira hora, monitorados pressão e temperatura a cada 10 minutos, com setpoint de 180 °C. Nos 30 minutos finais, a temperatura de operação foi elevada para 300 °C.

Concluída a etapa de pirólise, a válvula de saída do reator foi aberta para a coleta das amostras de biocombustível líquido, mantendo um setpoint de 400°C, que estão a todo momento em banho termostático à 2°C, garantindo a condensação do produto final. As amostras são tratadas e passadas para a identificação dos componentes através da técnica analítica HPLC (High Performance Liquid Chromatography).

Figura 1. Figura esquemática do processo de pirólise para a obtenção de biocombustível. FONTE: Autor

Processo da pirólise

A pirólise tem como objetivo a decomposição térmica da biomassa na ausência do oxigênio, assim, o sistema passa por um aquecimento gradativo, visando a quebra das longas cadeias orgânicas, como o triglicerídeos do óleo de algodão e a celulose/hemicelulose/lignina do capim-elefante, em moléculas menores, originando o produto desejado, biocombustível (bio-óleo), gases e resíduos sólidos (carvão).

Utilização do nitrogênio como gás inerte

Durante a pirólise, utiliza-se o nitrogênio como gás inerte com o objetivo de garantir que o processo ocorra na ausência de oxigênio, evitando, assim, a combustão da biomassa. O N_2 cria uma atmosfera estável e não reativa, impedindo a oxidação dos produtos formados e favorecendo apenas a decomposição térmica desejada. Além disso, o fluxo controlado de nitrogênio auxilia no transporte dos compostos voláteis gerados, conduzindo-os até os sistemas de condensação e coleta, ao mesmo tempo em que

contribui para a manutenção das condições ideais de pressão e estabilidade no reator. A escolha desse gás se justifica por sua abundância, baixo custo e inércia química, características que o tornam ideal para esse tipo de aplicação.

Utilização do catalisador hidróxido de cálcio

A escolha do hidróxido de cálcio como catalisador deve-se à sua ampla disponibilidade, baixo custo e à sua capacidade de controlar a acidez do meio reacional. Durante a decomposição da biomassa há a formação de diversos ácidos orgânicos, como os ácidos acético, fórmico e levulínico, que reduzem o pH, favorecem reações indesejadas e podem causar corrosão nos equipamentos. O uso de Ca(OH)_2 atua como agente alcalino tamponante, neutralizando esses ácidos e mantendo o sistema mais estável.

O hidróxido de cálcio também pode atuar como catalisador básico em reações de quebra, favorecendo processos como a descarboxilação, que envolve a remoção de CO_2 de ácidos orgânicos. Além da desidratação, caracterizada pela eliminação de moléculas de água a partir de açúcares e álcoois; além da ruptura de estruturas mais complexas, como lignina e hemicelulose, facilitando a hidrólise da biomassa.

Resultados e Discussões

Para as análises iniciais, foi necessário coletar os dados de massa de cada amostra em cada batelada, conforme apresentado na Figura 4. Esses valores foram utilizados como base para os cálculos posteriores de rendimento.

Figura 2. Massa das amostras, em gramas, de cada batelada dividido por amostras.

Rendimento da reação

A partir dos dados de massa de cada amostra de biocombustível condensado, foi possível calcular o rendimento final da reação, obtido pela razão entre a massa da amostra analisada e a massa total da mistura inserida no reator no início do processo. Com esses resultados, foram elaborados dois gráficos para melhor visualização dos rendimentos: a Figura 3 apresenta os valores individuais de cada amostra nas quatro bateladas realizadas, enquanto a Figura 4 complementa essa análise ao mostrar o rendimento total de cada batelada, considerando a soma das respectivas amostras.

Figura 3. Rendimento, em porcentagem, de cada amostra dividido por batelada.

Figura 4. Rendimento total, em porcentagem, da soma de todas as amostras em cada batelada.

A presença de hidrocarbonetos

Devido à importância dos hidrocarbonetos na produção de biocombustíveis, uma vez que são eles os responsáveis por fornecer a energia durante a combustão, torna-se fundamental que esses compostos estejam presentes em boas proporções nos produtos obtidos. Na Figura 5, é possível observar resultados positivos em algumas amostras. Na Batelada 1, em que foi utilizado o catalisador hidróxido de cálcio, destaca-se uma maior concentração de hidrocarbonetos já na primeira amostra. Na Batelada 2, onde o carvão foi removido da reação, as maiores porcentagens foram registradas ao final do processo. Por fim, nas duas últimas bateladas, realizadas sem o uso do catalisador, também se verificou que os melhores resultados em termos de porcentagem de hidrocarbonetos ocorreram nas amostras finais.

Figura 5. Composição, dividida entre hidrocarbonetos e outros, das amostras de cada batelada.

Conclusão

Os resultados obtidos confirmam a viabilidade da pirólise como rota sustentável para a produção de biocombustíveis líquidos a partir de biomassa. Observou-se que a presença do catalisador hidróxido de cálcio favoreceu maiores concentrações de hidrocarbonetos nas primeiras amostras, enquanto a retirada do carvão ou do catalisador alterou a distribuição desses compostos ao longo do processo. Tais resultados evidenciam a importância do ajuste das condições reacionais para otimizar a qualidade do bio-óleo produzido.

Assim, este estudo contribui para o avanço do conhecimento acerca da produção de combustíveis renováveis, alinhando-se às metas globais de redução da dependência de combustíveis fósseis e mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Referências

- [1] ARDILA-SUAREZ, C. et al. Bee green: combustíveis de hidrocarbonetos renováveis a partir de resíduos de favos de mel. *Fuel*, v. 340, p. 127319, 2023. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127319>.
- [2] LAVOIE, J. M. et al. Resíduos de máscaras cirúrgicas para combustíveis via coprocessamento termoquímico com óleo de motor residual e biomassa. *Bioresource Technology*, v. 348, p. 126798, 2022. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126798>.

[3] LIU, H. et al. Co-pyrolysis of biomass and plastics: A review of synergistic effects and reaction mechanisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 112, p. 432–445, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.017>.

[4] DING, W. et al. Catalytic co-pyrolysis of xylan and polyethylene over CaO and HZSM-5. *Bioresource Technology*, v. 259, p. 45–51, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.036>.

Anexos



Figura 1. Figura esquemática do processo de pirólise para a obtenção de biocombustível. FONTE: Autor



Figura 2. Massa das amostras, em gramas, de cada batelada dividido por amostras.



Figura 3. Rendimento, em porcentagem, de cada amostra dividido por batelada.



Figura 4. Rendimento total, em porcentagem, da soma de todas as amostras em cada batelada.



Figura 5. Composição, dividida entre hidrocarbonetos e outros, das amostras de cada batelada.

CÓDIGO: ET1630

AUTOR: HOSANA IASMIN CASTRO DOS SANTOS

COAUTOR: JADY LIMA DA SILVA

COAUTOR: GABRIEL ROCHA DOS SANTOS

COAUTOR: RICARDO JOSE MATOS DE CARVALHO

ORIENTADOR: PATRICK CESAR ALVES TERREMATTE

TÍTULO: Aplicação de Modelagem de Tópicos com BERTopic para Análise de Relatos de Desastres do Sistema Web NOAH

Resumo

O Gerenciamento de Riscos e Desastres (GRD) demanda a análise rápida de grandes volumes de relatos textuais da população. Este estudo aplicado e exploratório detalha o desenvolvimento do módulo de Processamento de Linguagem Natural (PLN) Noah-IA, integrado ao sistema Noah, para automatizar a triagem de ocorrências em Natal (RN). A metodologia partiu da criação de um corpus sintético com ChatGPT, e empregou o modelo BERTopic para a descoberta não supervisionada de tópicos e a biblioteca spaCy para a classificação da temporalidade dos relatos (risco vs. pós-fato). Os resultados demonstram a capacidade do modelo em identificar não apenas temas, mas "cenários de desastre" (e.g., queda de árvore sobre postes), validando a relevância dos achados ao compará-los com dados oficiais da Defesa Civil. Conclui-se que a abordagem proposta é eficaz para transformar dados não-estruturados em informação acionável, com potencial para otimizar a priorização de respostas a emergências.

Palavras-chave: Processamento de Linguagem Natural. Gerenciamento de Desastres.

TITLE: Topic Modeling Application with BERTopic for Analysis of Disaster Reports from the NOAH Web System

Abstract

Disaster Risk Management (DRM) requires the rapid analysis of large volumes of textual reports from the population. This applied and exploratory study details the development of the Natural Language Processing (NLP) module noah-ia, integrated into the Noah system, to automate the triage of incidents in Natal, Brazil. The methodology began with the creation of a synthetic corpus using ChatGPT, and employed the BERTopic model for unsupervised topic discovery and the spaCy library for classifying the reports' temporality (risk vs. after-the-fact). The results demonstrate the model's ability to identify not just themes, but complex "disaster scenarios" (e.g., trees falling on power lines), validating the findings by comparing them with official Civil Defense data. The study concludes that the proposed approach is effective in transforming unstructured data into actionable information, with the potential to optimize the prioritization of emergency responses, contributing to urban resilience.

Keywords: Natural Language Processing. Disaster Management.

Introdução

O Gerenciamento de Riscos e Desastres (GRD) tem se tornado uma área de crescente importância, impulsionada pela intensificação de eventos climáticos e pela crescente vulnerabilidade dos centros urbanos. Neste cenário, a comunicação eficaz entre os órgãos públicos, como a Defesa Civil, e a população é um pilar fundamental para uma resposta rápida e coordenada. A relevância deste tema para Natal-RN é evidenciada pela recente apresentação do Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR), um esforço que mapeou áreas vulneráveis a deslizamentos e alagamentos e reforçou a necessidade de uma gestão de riscos participativa (**PREFEITURA DO NATAL, 2025**). Contudo, a troca de informações durante a fase de resposta a desastres permanece como um dos maiores desafios operacionais, muitas vezes dificultada por ruídos de comunicação e pela falta de canais eficientes para a coleta de dados em tempo real, um desafio amplamente documentado na literatura da área (**IMRAN et al., 2015**).

Visando endereçar este desafio no contexto da cidade de Natal-RN, o sistema Noah surge como uma plataforma colaborativa que utiliza a Inteligência Artificial (IA) para apoiar o GRD. Através de um sistema web e de um chatbot, o Noah propõe um canal direto para que a população possa notificar riscos e incidentes, ajudando a proteger a comunidade local. No entanto, ao abrir essa via de comunicação, o sistema se depara com um desafio tecnológico fundamental: o recebimento de um grande volume de dados em formato de texto livre. Estes relatos, expressos em linguagem natural, são heterogêneos, informais e não estruturados, tornando a triagem e a priorização manual uma tarefa inviável e lenta, que pode comprometer o tempo de resposta a eventos críticos.

Para analisar os relatos da população e gerar informações que ajudem na tomada de decisão, este trabalho apresenta a criação de um módulo de Processamento de Linguagem Natural (PLN) para o sistema Noah. O objetivo principal deste artigo é, portanto, apresentar o desenvolvimento e a aplicação do modelo BERTopic para a categorização automática de relatos de desastres no chatbot do Noah.

Metodologia

Um desafio primário para o desenvolvimento de sistemas de IA neste domínio é a disponibilidade de dados de treinamento. Para superar a falta de um corpus público específico para desastres no contexto brasileiro, o ponto de partida metodológico foi a criação de um conjunto de dados sintético. Especificamente, foi utilizado o modelo de linguagem generativa ChatGPT para criar um volume de 206 exemplos textuais que simulam relatos de cidadãos para diversas categorias de ocorrências como alagamento, enxurrada, deslizamento, incêndio, etc. Os textos gerados foram então copiados em um arquivo de formato CSV (Comma-Separated Values), que serviu como fonte de entrada para a etapa seguinte.

A preparação deste corpus para a modelagem envolveu um processo de pré-processamento textual, resultando na normalização dos dados através da conversão para minúsculas, garantindo que palavras como “Chuva” e “chuva” fossem tratadas da mesma forma, remoção de pontuações, consistindo na retirada de todos os caracteres que não eram letras para focar apenas no conteúdo do texto e eliminação de stopwords, que são preposições muito comuns em português que não carregam um significado importante para definir um tópico (como “de”, “a”, “o”, “que”, “em”).

Para a modelagem de tópicos, foi utilizado o modelo BERTopic (**GROOTENDORST, 2022**), que é uma abordagem moderna baseada em embeddings contextuais, diferente da abordagem clássica e mais difundida, a Alocação Latente de Dirichlet (LDA) (**BLEI; NG; JORDAN, 2003**).

Essa distinção é fundamental: o LDA, trata os documentos como uma mistura de tópicos e os tópicos como uma distribuição de palavras, o que o torna dependente da frequência delas, mas cego ao contexto semântico (**EGGER; YU, 2022**). Em contraste, o BERTopic fundamenta-se na hipótese de que documentos com significados similares devem ser agrupados. O resultado é um modelo mais robusto, que não exige a definição prévia do número de tópicos e demonstra performance superior na análise de textos, sendo, portanto, mais adequado às necessidades deste módulo do sistema NOAH.

O processo inicia-se com a etapa de vetorização, na qual cada relato de desastre é convertido em um embedding semântico. Para esta tarefa, foi utilizado o modelo SentenceTransformer com a arquitetura pré-treinada ‘paraphrase-

multilingual-mpnet-base-v2', escolhida pela sua eficácia em capturar nuances contextuais em português.

Dado que os embeddings semânticos gerados são de alta dimensionalidade, foi aplicado o algoritmo UMAP (**MCINNES; HEALY; MELVILLE, 2018**) para a redução e projeção dos dados. O principal parâmetro, `n_neighbors`, foi configurado com o valor 5. Esta escolha se justifica pela escala do conjunto de dados (206 amostras), priorizando a formação de clusters mais bem definidos. O parâmetro `components` foi definido como 2, instruindo o algoritmo a projetar os dados em um espaço bidimensional, o que permite a posterior visualização gráfica dos resultados.

Para o cálculo de distância entre os pontos no espaço, foi selecionada a métrica 'cosine'. Diferente de métricas espaciais, a similaridade de cosseno não mede a magnitude dos vetores, mas sim o ângulo entre eles. Essa abordagem é particularmente eficaz para dados textuais, pois permite identificar a similaridade de significado entre dois relatos, independentemente da quantidade de palavras em cada um. Por fim, o parâmetro `random_state` foi fixado em 42, uma medida essencial para garantir a reprodutibilidade dos resultados em futuras execuções do código.

Subsequentemente, foi aplicado o algoritmo de clusterização HDBSCAN nos vetores de dimensionalidade reduzida. Seus parâmetros foram ajustados para `min_samples` com valor 3 e `min_cluster_size` com valor 4. Esta configuração específica instrui o modelo a ser mais rigoroso na formação de clusters, permitindo que um tópico seja formalmente identificado a partir de apenas quatro relatos distintos. Por fim, para garantir a interpretabilidade dos clusters formados, foi utilizado um vocabulário pré-definido. Este vocabulário foi elaborado para incluir termos específicos e relevantes ao domínio de desastres, abrangendo categorias como 'Hidrológicos' (e.g., inundação, alagamento), 'Geológicos' (e.g., deslizamento), 'Meteorológicos' (e.g., tempestade) e 'Riscos Estruturais' (e.g., poste, árvore). A utilização deste vocabulário direciona o modelo a focar nas palavras mais pertinentes ao problema, assegurando que a representação final de cada tópico fosse concisa.

Para enriquecer a análise uma segunda classificação foi adicionada ao pipeline. Esta camada, desenvolvida com a biblioteca spaCy, realiza uma análise morfológica para determinar a temporalidade dos relatos. A função implementada examina os verbos em cada texto para diferenciar entre eventos consumados ("pós-fato") e situações de perigo em andamento ("risco"). O resultado final do pipeline é, portanto, um dado categorizado tematicamente pelo BERTopic e classificado quanto à sua urgência pela análise temporal.

Por fim, o módulo de PLN desenvolvido não opera de forma isolada, mas sim como um componente de serviço dentro da arquitetura integrada do sistema Noah, disponível em <https://noah.imd.ufrn.br/>, atuando como o núcleo que interpreta as mensagens dos cidadãos. O fluxo operacional para o registro de uma nova ocorrência foi projetado da seguinte forma:

**Cidadão → WhatsApp → NOAH-Bot (que consome o) → [Módulo de PLN]
→ API → Plataforma Noah Web → Banco de Dados**

Dessa forma, o módulo de PLN atua como um microserviço permitindo que todo o ecossistema Noah opere com informações já classificadas.

Resultados e Discussões

Identificação e Análise dos Tópicos de Ocorrências

O resultado inicial da aplicação do modelo BERTopic foi a identificação de um conjunto de tópicos temáticos a partir dos relatos. A Figura 1 (Anexos) expõe os termos de maior relevância para uma amostra dos tópicos descobertos.

Por exemplo, o Tópico 2 representa o cenário de "árvore", "tempestade" e "poste".

A discussão em torno deste resultado inicial reside na capacidade do modelo de, autonomamente, transformar relatos livres e não-estruturados dos cidadãos em dados estruturados e categorizados. Este é o primeiro passo para otimizar a integração dessas informações com outras fontes e para automatizar a triagem de ocorrências. A variedade de tópicos identificados, demonstra a abrangência da análise.

Estrutura Semântica e a Descoberta de Cenários

Foi analisada também a relação semântica entre os tópicos. O dendrograma de clusterização hierárquica (Figura 2, Anexos) ilustra a estrutura de aglomeração, revelando a formação de super-grupos lógicos, como o que une ocorrências de "incêndio" e "explosão" e outro que agrupa "deslizamento" e "enxurrada". De forma complementar, a matriz de similaridade (Figura 3, Anexos) quantifica essa relação, com tons mais escuros indicando maior proximidade de significado entre os tópicos.

O ponto mais relevante desta análise estrutural é a constatação de que o modelo não identificou apenas palavras-chave, mas sim "cenários de desastre". O Tópico 2 (árvore_tempestade_poste), por exemplo, não representa três temas distintos, mas provavelmente um evento único de "queda de árvore sobre a rede elétrica durante uma tempestade". Esta capacidade de extrair cenários é uma vantagem de modelos contextuais como o BERTopic sobre abordagens clássicas. Para a Defesa Civil, um relato categorizado com este cenário é muito mais informativo e direciona uma resposta mais eficaz do que um relato genericamente classificado como "árvore" ou "tempestade".

Validação Funcional e Temporalidade

Para testar se o sistema funcionava na prática, foi realizado um teste local com o seguinte relato: "estou dirigindo e acabei de ver que abriu uma cratera enorme próximo ao natal shopping, alguns motoqueiros quase caíram". O sistema retornou duas classificações para essa frase: o tópico foi identificado como "cratera poste" e a temporalidade como "pós-fato".

A análise desses resultados mostrou dois lados. A classificação da temporalidade como "pós-fato" estava correta e se mostrou muito útil, pois saber a diferença entre um "risco" (algo acontecendo agora) e um "pós-fato" é fundamental para a Defesa Civil priorizar suas ações.

Por outro lado, a classificação do tópico como "cratera poste" foi um acerto parcial. O modelo acertou o tema principal ("cratera"), mas a inclusão de "poste" foi uma imprecisão, já que a palavra não estava na mensagem. Isso provavelmente aconteceu pela forma como as palavras foram associadas nos dados de treinamento. O resultado evidencia que, para trabalhos futuros, é necessário treinar o modelo com um volume de dados maior e mais variado para refinar a precisão dos tópicos.

Comparação com Dados Oficiais e Relevância Prática

A validação final da relevância do modelo foi realizada comparando os tópicos gerados com os dados oficiais de ocorrências de 2024, disponibilizados na plataforma Noah Web (Figura 4, Anexos). A análise comparativa revelou uma certa correspondência. O tópico de maior frequência identificado pelo modelo, "Inundação e Alagamento", alinha-se diretamente com a categoria oficial mais recorrente de 2024, "Transbordamento de Lagoa".

Esta correspondência demonstra que o modelo de PLN foi capaz de, a partir de texto livre e de forma não supervisionada, reconstruir eventos similares àqueles utilizados pelos próprios agentes da Defesa Civil. Isso não apenas valida a eficácia da abordagem metodológica, mas confirma o potencial da ferramenta para automatizar a triagem de relatos com alinhamento à realidade operacional do órgão.

Conclusão

Os resultados mostraram que a abordagem funcionou bem. A maior descoberta foi que o modelo aprendeu a identificar "cenários" completos (como 'queda de árvore em poste'), o que é muito mais útil do que apenas encontrar palavras-chave soltas. Além disso, a comparação entre os tópicos encontrados pelo

sistema e as categorias oficiais da Defesa Civil de Natal revelou uma alta correspondência, o que prova a relevância da ferramenta e sua capacidade de entender os problemas reais da cidade.

A principal contribuição deste projeto é um protótipo funcional que mostra ser possível automatizar a triagem de relatos de desastres. Na prática, isso pode ajudar a Defesa Civil a otimizar seu tempo e recursos, respondendo mais rápido às emergências mais urgentes. O trabalho serve como um exemplo prático de como a IA pode ser aplicada para ajudar a tornar as cidades mais seguras.

Apesar dos bons resultados, foi identificada uma limitação importante: o tempo de resposta do modelo, que nos testes realizados foi alto para uma aplicação em tempo real. Por isso, como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se: otimizar o modelo para que se torne mais rápido, usando técnicas específicas e equipamentos mais potentes como placas de vídeo (GPUs); treinar o modelo com os dados reais que o NOAH-Bot irá coletar, para que fique ainda mais inteligente e adaptado à forma como as pessoas de Natal falam e reconfigurar o modelo para melhor precisão de tópicos.

Referências

PREFEITURA DO NATAL. Prefeitura apresenta Plano de Redução de Risco e abre consulta pública para contribuições. Natal, 2025. Disponível em: <https://www.natal.rn.gov.br/news/post2/43137>. Acesso em: 29 ago. 2025.

IMRAN, M.; CASTILLO, C.; DIAZ, F.; MEIER, P. Processing social media messages in crises: A survey. *ACM Computing Surveys*, v. 47, n. 4, p. 1-38, 2015.

GROOTENDORST, M. BERTopic: Neural topic modeling with a class-based TF-IDF procedure. *arXiv preprint arXiv:2203.05794*, 2022

BLEI, D. M.; NG, A. Y.; JORDAN, M. I. Latent Dirichlet Allocation. *Journal of Machine Learning Research*, v. 3, p. 993-1022, 2003.

EGGER, R.; YU, J. A topic modeling comparison between LDA, NMF, Top2Vec, and BERTopic. In: *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications - Volume 349: Knowledge Management in Organizations*. IOS Press, 2022. p. 135-147.

MCINNES, L.; HEALY, J.; MELVILLE, J. UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction. *arXiv preprint arXiv:1802.03426*, 2018.

Anexos



Figura 1 - Gráfico de barras com as pontuações c-TF-IDF das palavras-chave mais representativas para uma amostra dos tópicos identificados.



Figura 2 - Dendrograma da clusterização hierárquica ilustrando a relação de similaridade semântica e a formação de super-grupos entre os tópicos.



Figura 3 - Matriz de similaridade de cosseno entre os tópicos, onde tons mais escuros indicam maior proximidade semântica.



Figura 4 - Distribuição dos tipos de ocorrências registrados pela Defesa Civil de Natal no ano de 2024.

CÓDIGO: ET1641

AUTOR: ARIADNY DE SOUSA PEREIRA

ORIENTADOR: SANDRA RUFINO SANTOS

TÍTULO: Inventário físico como ferramenta de reorganização de estoques em laboratórios clínicos: relato de experiência

Resumo

A gestão de estoques em laboratórios clínicos apresenta desafios relacionados à descentralização, excesso de insumos e falhas de padronização, que comprometem tanto a eficiência operacional quanto a segurança assistencial. A pesquisa desenvolvida teve como objetivo diagnosticar essas fragilidades e propor soluções estruturadas para a melhoria da gestão. A metodologia incluiu observação de campo, entrevistas com colaboradores e análise documental, o que permitiu levantar problemas e priorizar ações de intervenção. Entre as medidas propostas, destacou-se a realização de um inventário físico geral como etapa fundamental para validar o diagnóstico e fornecer uma base de dados confiável. Este artigo relata a execução prática do inventário, detalhando o planejamento, a metodologia de contagem e os resultados obtidos. A experiência confirma que o inventário físico é uma ferramenta de baixo custo e alto impacto, funcionando como marco inicial para a implantação de políticas de estoque mínimo e máximo, padronização de fluxos e integração com sistemas digitais de gestão.

Palavras-chave: Inventário físico. Gestão de estoques. Laboratórios. Padronização

TITLE: Physical inventory as a tool for stock reorganization in clinical laboratories: an experience report

Abstract

Inventory management in clinical laboratories presents challenges related to decentralization, excess supplies and lack of standardization, which compromise both operational efficiency and patient safety. This research aimed to diagnose these weaknesses and propose structured solutions for improvement. The methodology included field observation, staff interviews and document analysis, which allowed the identification of problems and the prioritization of interventions. Among the proposed measures, the execution of a full physical inventory was highlighted as a fundamental

step to validate the diagnosis and provide a reliable database. This article reports the practical implementation of the inventory, describing its planning, counting methodology and results. The experience confirmed that physical inventory is a low-cost, high-impact tool, serving as a starting point for the implementation of minimum and maximum stock policies, standardized workflows and integration with digital management systems.

Keywords: Physical inventory. Stock management. laboratory. Standardization.

Introdução

A gestão de estoques na área da saúde é uma atividade estratégica, uma vez que falhas no controle podem comprometer tanto a qualidade assistencial quanto a sustentabilidade financeira da instituição. Em laboratórios clínicos, a situação se torna ainda mais complexa devido à ampla variedade de insumos, à criticidade de muitos materiais e à curta validade de itens que precisam estar sempre disponíveis para garantir a continuidade dos exames (BARBIERI; MACHLINE, 2017).

Embora a literatura ressalte a importância de manter níveis adequados de estoque, muitas organizações enfrentam dificuldades decorrentes da descentralização, da ausência de padronização de processos e da inexistência de indicadores de desempenho (DIAS, 2010; BALLOU, 2007). Estudos recentes apontam que a aplicação de ferramentas de gestão, como inventários físicos periódicos e a adoção de metodologias de melhoria contínua, pode reduzir desperdícios e aumentar a previsibilidade operacional (GASNIER, 2002).

No laboratório estudado, localizado em Natal/RN, observou-se um cenário caracterizado por insumos dispersos em diferentes setores, duplicidade de itens, inexistência de controle sistematizado e presença de materiais vencidos. A pesquisa realizada teve caráter exploratório e aplicou técnicas qualitativas para identificar essas fragilidades. A partir desse diagnóstico, elaborou-se um plano de ação que incluiu centralização dos estoques, padronização de processos, elaboração de indicadores e realização de inventário físico geral.

Neste artigo, apresenta-se o relato da execução desse inventário físico, destacando a metodologia aplicada, os resultados alcançados e as diretrizes estabelecidas para consolidar a reorganização dos estoques.

Metodologia

A pesquisa configurou-se como um estudo de caso com relato de experiência, desenvolvida em uma unidade laboratorial. Inicialmente, realizou-se um diagnóstico qualitativo mediante três instrumentos: (i) observação direta nos setores de coleta, copa,

limpeza, expediente e infantil; (ii) entrevistas semiestruturadas com colaboradores, a fim de compreender percepções sobre disponibilidade de insumos; e (iii) análise documental de planilhas de solicitação e registros de estoque.

Esse diagnóstico revelou falhas como descentralização de materiais em diversos pontos de uso, ausência de critérios de validade no armazenamento e inexistência de inventários periódicos. A partir desses achados, definiu-se a priorização do inventário físico como medida inicial, em função de sua viabilidade prática e potencial de gerar dados confiáveis.

O inventário foi planejado para abranger todos os insumos da unidade, excetuando-se mobiliário e equipamentos fixos. Para a coleta de dados, elaborou-se uma planilha padronizada com os seguintes campos: código do material, nome, tipo, quantidade, unidade de medida, validade, peso, prioridade, dimensões, observações e responsável pela contagem. Como apresenta a figura 1 abaixo, esse instrumento visou garantir rastreabilidade, padronização e consistência dos registros.

Figura 1: Planilha de inventário

Fonte: Autores (2025).

A execução ocorreu em um dia de não funcionamento da unidade, com duração aproximada de seis horas, distribuídas em uma hora de alinhamento metodológico, quatro horas de contagem e uma hora de organização final. Foram constituídas quatro equipes, cada uma composta por um colaborador do laboratório, responsável por identificar corretamente os insumos, e um ou mais integrantes do grupo de pesquisa.

A metodologia aplicada incluiu inventário por localização, contagem cega e dupla checagem em caso de divergências. Ao final da atividade, realizou-se a organização física dos materiais, com descarte de produtos vencidos e recolhimento de volumes excessivos para o estoque centralizado.

Resultados e Discussões

A realização do inventário físico geral possibilitou uma série de resultados imediatos e evidenciou benefícios que transcendem a simples contagem de insumos. A seguir, apresentam-se os principais achados organizados em dimensões de análise, seguidos da discussão à luz da literatura.

3.1. Resultados práticos do inventário

O inventário consolidou, pela primeira vez, um retrato completo e confiável da situação dos estoques da unidade laboratorial. Entre os resultados mais relevantes destacam-se:

Identificação de materiais vencidos: diversos insumos, principalmente de uso cotidiano, foram encontrados fora do prazo de validade e devidamente descartados conforme previsto na unidade.

Recolhimento de excessos: verificou-se que muitos setores de uso diário armazenavam quantidades superiores ao necessário para sua rotina, o que favorecia o acúmulo e aumentava o risco de perdas. Esses materiais foram recolhidos para o almoxarifado central.

Reorganização física: após a contagem, os itens foram reagrupados por tipo, validade e frequência de uso, criando condições para a aplicação do método FIFO (First In, First Out).

Padronização mínima: estabeleceu-se a regra de não misturar unidades de medida, consolidar insumos iguais que estavam dispersos e registrar detalhadamente local, validade e responsável pela contagem.

Base de dados confiável: a planilha padronizada passou a servir como registro consolidado do estoque, permitindo futuras análises quantitativas, como classificação ABC, cálculo de cobertura e definição de pontos de pedido.

Esses resultados reforçam a relevância da prática do inventário como marco inicial para a reorganização, ao transformar percepções subjetivas em dados concretos.

3.2. Benefícios da metodologia ativa

Outro aspecto central do inventário foi a adoção de uma metodologia ativa de participação da equipe. Cada grupo de contagem incluiu um colaborador do laboratório, com conhecimento dos materiais, e um integrante do grupo de pesquisa. Essa escolha trouxe múltiplos benefícios:

Engajamento e protagonismo: ao participar do processo, os colaboradores deixaram de ser apenas executores e tornaram-se agentes ativos da mudança.

Aprendizado prático: a vivência direta na contagem e organização contribuiu para a formação de competências em gestão de estoques, que dificilmente seriam assimiladas apenas por treinamentos teóricos.

Cultura de mudança: a atividade prática mostrou à equipe que era possível reorganizar processos de forma estruturada e com impacto imediato, fortalecendo a confiança na implementação das soluções.

De acordo com Liker (2005), mudanças organizacionais sustentáveis exigem envolvimento direto das pessoas no processo, criando aprendizado coletivo. Nesse sentido, o inventário se mostrou não apenas uma ferramenta técnica, mas também pedagógica, ao estimular reflexão e mudança de comportamento.

3.3. Vantagens da organização física

A organização física decorrente do inventário representou um ganho direto para a rotina da unidade. Antes da intervenção, insumos estavam dispersos em múltiplos pontos, sem critérios claros de armazenagem. Após a reorganização, os materiais foram centralizados e endereçados, com separação por tipo e validade.

Essa medida trouxe vantagens como:

Redução do tempo de procura: técnicos e colaboradores passaram a localizar os insumos de forma mais rápida.

Segurança operacional: ao aplicar o princípio FIFO, reduziu-se o risco de utilização de materiais vencidos ou em condições inadequadas.

Aproveitamento do espaço físico: a remoção de excessos liberou áreas nos setores de uso, que puderam ser destinadas exclusivamente à atividade-fim.

Prevenção de perdas: a visibilidade aumentada do estoque permitiu evitar compras desnecessárias e reduzir o desperdício de itens.

Esses achados convergem com Ballou (2007), que afirma que o layout e o endereçamento do estoque impactam diretamente a eficiência logística e os custos de operação.

3.4. Mensuração e confiabilidade dos dados

Um dos maiores ganhos proporcionados pelo inventário foi a mensuração confiável dos insumos. Antes da atividade, não havia registros padronizados ou consistentes. O uso da planilha elaborada trouxe uma série de vantagens:

Rastreabilidade: cada contagem foi registrada com nome do responsável, data, validade e unidade de medida.

Integração futura: os dados coletados criaram base sólida para migração ao sistema informatizado de gestão.

Indicadores de estoque: a consolidação permitiu o cálculo de métricas essenciais, como giro de estoque, cobertura e valor monetário dos insumos.

Decisão baseada em evidências: a gestão deixou de se apoiar em percepções subjetivas para se fundamentar em dados reais.

Segundo Dias (2010), a confiabilidade da informação é o elemento central da gestão de estoques, pois dela dependem decisões de reposição, compras e utilização. Nesse sentido, o inventário atuou como ferramenta de confiabilidade, permitindo a elaboração de políticas de mínimos e máximos.

3.5. Diretrizes pós-inventário

Após a execução, foram definidas novas regras e processos para consolidar os ganhos alcançados:

Recebimento: todo insumo deve ser registrado imediatamente na planilha antes de ser encaminhado ao almoxarifado.

Retiradas: cada setor passou a retirar materiais uma vez ao dia, fora do horário de pico, e em quantidade suficiente apenas para a jornada seguinte. Em setores de baixa demanda, a retirada ocorre a cada dois dias.

Controle rigoroso: estabeleceu-se a regra de tolerância zero a saídas não registradas.

Treinamento: todos os colaboradores foram orientados quanto às novas regras, com previsão de reciclagens trimestrais.

Conclusão

A realização do inventário físico nesta unidade laboratorial representou não apenas um marco na reorganização dos estoques, mas também a consolidação de uma pesquisa aplicada que percorreu todas as etapas do ciclo de diagnóstico, priorização e implementação de soluções.

Os resultados obtidos demonstraram ganhos em diferentes dimensões. Do ponto de vista operacional, a atividade eliminou desperdícios, reduziu excessos e permitiu maior eficiência na rotina. Do ponto de vista econômico, a confiabilidade dos dados coletados viabilizou o cálculo de indicadores e a prevenção de custos associados a perdas. Do ponto de vista cultural, a metodologia ativa utilizada promoveu engajamento dos colaboradores, fortalecendo a percepção de corresponsabilidade na gestão dos estoques.

A pesquisa também evidencia a importância da relação entre universidade e organizações privadas. A aproximação promovida com o laboratório permitiu que conceitos discutidos em sala de aula, como inventário físico, padronização de processos e uso de ferramentas de gestão, fossem aplicados em um contexto real, gerando benefícios imediatos para a instituição parceira. Essa interação reforça o papel da universidade como agente de transformação social e produtiva, capaz de transferir conhecimento, metodologias e inovação para diferentes setores da economia.

Do ponto de vista acadêmico, o trabalho contribui ao demonstrar como metodologias simples e de baixo custo, quando estruturadas de forma participativa, podem gerar resultados expressivos em ambientes de saúde. Do ponto de vista organizacional, a experiência oferece evidências de que o inventário físico deve ser incorporado como prática periódica, sustentando políticas de controle, integração com sistemas digitais e cultura de melhoria contínua.

Conclui-se, portanto, que o inventário físico não deve ser entendido apenas como uma atividade pontual de contagem, mas como instrumento estratégico de gestão, capaz de alinhar teoria e prática, fortalecer a governança de estoques e consolidar a parceria entre academia e organizações privadas em prol de uma saúde mais eficiente e sustentável.

Referências

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

BARBIERI, José Carlos; MACHLINE, Claude Machline. Logística hospitalar: teoria e prática. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

DIAS, Marco Aurélio P. Administração de materiais: uma abordagem logística. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GASNIER, Daniel Georges. A dinâmica dos estoques: guia prático para planejamento, gestão de materiais e logística. São Paulo: IMAM, 2002.

LIKER, Jeffrey K. O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.

Anexos



Planilha de inventário

CÓDIGO: ET1642

AUTOR: MATEUS RODRIGUES DA SILVA

COAUTOR: JOSÉ CARLOS GOMES DA SILVA

COAUTOR: LEVI RAMOM SILVA DOS SANTOS

COAUTOR: PABLO JAVIER ALSINA

COAUTOR: SAMARA REVOREDO DA SILVA

ORIENTADOR: MARCIO VALERIO DE ARAUJO

TÍTULO: Aperfeiçoamento de instrumentação para um equipamento do tipo remo seco destinado ao monitoramento de dados antropométricos

Resumo

Em virtude da grande quantidade de doenças catalogadas que ocasionam problemas de mobilidade, vasculares entre outros, é difícil encontrar equipamentos específicos para cada situação, além do que muitos desses equipamentos são bastante caros e são feitos sob demanda. Por conta dos fatores citados o projeto deste trabalho foi desenvolvido Utilizando as ferramentas oriundas da metrologia, eletrônica e instrumentação associados com as técnicas clássicas da reabilitação e da fisioterapia este trabalho instrumento um equipamento tipo remo seco com vários tipos de sensores conectados a um microcontrolador embarcados e desenvolveu uma interface homem-máquina para monitorar as sessões de reabilitação e ajudar a traçar um diagnóstico e quantificar a evolução do paciente que poderão ser utilizadas para estimar alguns parâmetros neurofisiológicos do paciente, facilitando o entendimento e o acompanhamento dos resultados adquiridos por meio de gráficos que são gerados com os dados coletados dos sensores via IoT enquanto o paciente faz os exercícios e com esses resultados se pode diagnosticar e tratar os pacientes.

Palavras-chave: Fisioterapia, Remo seco, sensores, IoT

TITLE: Design and installation of sensors on an adapted dry rowing machine used in rehabilitation.

Abstract

Due to the large number of cataloged diseases that cause mobility, vascular, and other problems, it is difficult to find specific equipment for each situation, in addition to the fact that many of these devices are quite expensive and made to order. Because of these factors, this project was developed. Using tools from metrology, electronics, and instrumentation, combined with classical rehabilitation and physiotherapy techniques, this work equipped a dry rowing machine with various types of sensors connected to an onboard microcontroller and developed a human-machine interface to monitor rehabilitation sessions. This system helps to diagnose and quantify the patient's progress, which can be used to estimate some neurophysiological parameters of the patient, facilitating the understanding and monitoring of results through graphs generated with data collected from the sensors via IoT while the patient performs exercises. These results can be used to diagnose and treat patients

Keywords: Physiotherapy, Dry rowing, sensors, IoT

Introdução

Com os avanços tecnológicos como os da eletrônica, robótica, microeletrônica e da Internet of Things(IoT) associadas com novas técnicas de reabilitação proporcionaram uma melhoria significativa na recuperação de pacientes lesionados ou com limitações motoras. Se viu a necessidade de implementação das mesmas nas áreas mais sensíveis para a sociedade, uma dessas tecnologia é o biofeedback onde pode utilizar equipamento que outrora foram criados para maquinários industriais, mas que podem ser utilizados para a reabilitação de pessoas/pacientes que tiveram as suas mobilidades reduzidas ou doenças degenerativas. Com essas tecnologias agrupadas juntamente com a instrumentação e a metrologia foi desenvolvido neste trabalho o aparelho de remo seco com sensores conectados a um microcontrolador e uma interface homem-máquina desenvolvida por uma API python adaptada para a melhor configuração para auxiliar na monitoração das sessões de reabilitação do avanço na melhora do paciente. A ferramenta tecnológica principal para o desenvolvimento deste trabalho foi o IoT, basicamente ele foi desenvolvido para unir os aparelhos tecnológicos físicos à internet por meio de protocolos, alguns desses dispositivos que podemos usar são os famosos Arduino, Raspberry PI, ESP 32 e inúmeros outros. Com isso, somos capazes de coletar, processar e compartilhar dados para aprimorar e aperfeiçoar serviços e sistemas podendo assim automatizá-los. A partir disso foram desenvolvidas funções para IoT voltadas para várias áreas, sendo uma delas a área da saúde. Por dentro da IoT voltada a área da Saúde nós temos duas subáreas que são bastantes importantes aqui neste trabalho, que são elas o biofeedback e a gameterapia. Por meio da conectividade entre sensores e microcontroladores, o biofeedback tem como finalidade medir dados precisos para auxiliar os profissionais da área médica e terapêutica na tomada de decisão sobre o estado do tratamento dos pacientes. Em conjunto do biofeedback a gameterapia trabalha mais voltada na área da experiência do usuário, aumentando os benefícios físicos e mentais por transformar o processo de reabilitação menos maçante para o paciente. Baseado na gameterapia, foi desenvolvido um jogo estilo plataforma bidimensional que pode ser controlado com o auxílio de dados coletados pelos movimentos feitos no remo seco via IoT, sendo possível acompanhar visualmente e graficamente a evolução do usuário no equipamento.

Metodologia

Para este trabalho foram utilizadas ferramentas, softwares e materiais para projetar o sistema eletrônico IoT com biofeedback instalado no equipamento do remo. A máquina de remo tem foco nos exercícios de membros inferiores (flexão e extensão de quadris e os joelhos) e foi projetado para pessoas com alguma deficiência ou disfunção motora nos membros já citados, o equipamento é semelhante uma máquina normal de musculação conhecida como remo seco, onde o paciente se senta em um banco com encosto e cinto de fixação que pode utilizá-lo para movimentar para frente e para trás com o movimento de flexão plantar e o de dorsiflexão. O equipamento pode ser articulado para melhor atender o paciente, pois pode ser inclinado e o suporte do banco não é fixo sendo regulável para um melhor apoio do paciente. Tendo em vista a possibilidade de utilizar tecnologia IoT para auxiliar no diagnóstico de doenças e tratamento de enfermidades, o presente trabalho visa o desenvolvimento de uma plataforma eletrônica capaz de conectar-se à internet e publicar informações relevantes de um paciente que está realizando um exercício de reabilitação em uma cadeira remadora. O objetivo geral é incentivar e acelerar a reabilitação de pessoas enfermas através de um estímulo visual, por meio de um jogo digital, e levantar um feedback do movimento realizado para que o profissional possa interpretá-lo e, a partir dos padrões, chegar a um diagnóstico mais preciso da doença. O projeto se divide em três partes, sendo a primeira delas o remo que foi desenvolvido pelo laboratório de manufatura (LABMAN) da UFRN que possui vários tipos de regulagens e foi projetado e desenvolvido para ser utilizado em sessões de reabilitação no qual foi instalado um sensor de deslocamento do banco. Na prática o equipamento funciona da seguinte forma, o banco desliza sobre uma viga e o valor do deslocamento desse banco é medido pelo sensor ultrassônico, esse valor é utilizado nas sessões de fisioterapia para avaliar o desempenho do usuário ao utilizar o equipamento. Já o sensor de força é para auxiliar o aumento de força do usuário utilizando o equipamento. Basicamente esses dois sensores estão no remo para monitorar as condições físicas do usuário tanto em força quanto em deslocamento. A segunda parte é o hardware que precisa ter um tamanho reduzido e deve ser de baixo custo e baixo consumo energético a fim de criar uma inovação com baixo orçamento e realizar uma prototipagem rápida. Dito isso, o funcionamento básico do circuito começa pelo microcontrolador (ESP8266), que recebe dados do sensor ultrassônico (HC-SR04). O sensor hipsônico emite pulsos de ultrassom e medem o tempo que leva para os pulsos retornarem após atingirem um objeto. Com base nesse tempo, é possível calcular a distância. O sensor ultrassônico opera com base no princípio da ecolocalização, semelhante ao sonar utilizado por morcegos e golfinhos. Este dispositivo compacto é composto por um transmissor ultrassônico e um receptor. Ao ser acionado, o transmissor emite pulsos ultrassônicos em direção ao ambiente circundante. Quando esses pulsos encontram um objeto que neste trabalho é o banco do remo onde o usuário usa para poder se deslocar na viga, parte da energia é refletida de volta para o sensor. O receptor, então, detecta esse retorno de onda sonora e mede o tempo decorrido entre a emissão e a recepção do sinal. Com base nesse intervalo de tempo, o HC-SR04 calcula a distância até o objeto utilizando a velocidade conhecida do som. Com esses dados é possível medir o tempo que o paciente leva para fazer o exercício ao longo da terapia. Além do sensor Hipsônico também foi testado um sensor a laser VL53L0x porém até o momento não foi implementado e nem

devidamente testado, além de uma base móvel de fixação para a parte eletrônica, feita em impressão 3d e modelada no fusion. A terceira e última parte é a parte de software, que se subdivide em duas áreas que são a programação do microcontrolador e a API python que é responsável pelo jogo. Na área do microcontrolador foi utilizado o software desenvolvimento IDE do Arduino que é programado nas linguagens C e C++, e para auxiliar foram utilizadas apenas 3 bibliotecas: Wifi.h , PubSubClient.h e HCSR04.h. A primeira biblioteca é a Wifi.h ela permite configurações e operações do módulo wifi com o Arduino permitindo que você a configure e conecte a redes WiFi, possibilitando a comunicação sem fio para troca de dados pela Internet ou em redes locais. A segunda biblioteca "PubSubClient.h" facilita a comunicação com o protocolo MQTT. Por fim, a última biblioteca permite facilitar a coleta de dados do sensor de distância HC-SR04, essa biblioteca simplifica a interface como sensor, permitindo integrar facilmente o HC-SR04 aos projetos com Arduino. Na área de API, que significa Interface de Programação de Aplicações, que se refere a um conjunto de regras e ferramentas que permite que diferentes softwares interajam entre si. Foi utilizado neste trabalho o PAHO para comunicação MQTT que é onde se pode implementar a parte do IoT do trabalho que conecta o remo ao jogo, a PY GAME que é uma biblioteca python responsável pelo desenvolvimento do jogo que vai auxiliar na Gameterapia, matplotlib é uma biblioteca que geraram os gráficos com as informações do paciente durante o exercício na máquina remadora. Para o desenvolver o jogo foi usado a linguagem de programação python e os sprites do jogo foram feitos no software "paint". A lógica do jogo é que o player na figura de um ninja deve pular os objetos no percurso à medida que eles aparecem na tela. Para controlar o personagem e fazer com que ele "pule", é necessário fazer força nas pernas e concluir o movimento de ida na máquina remadora, da mesma forma, para voltar ao "chão", o paciente deve flexionar os músculos para retornar à posição onde iniciou o movimento na cadeira.

Resultados e Discussões

Os resultados deste trabalho foram obtidos no laboratório de manufatura da UFRN, testados no protótipo de uma máquina remadora adaptada para pessoas com deficiência física/motora. Para fazer a leitura dos dados do sensor de variação de posição foi utilizado um microcomputador que coletou os dados processados pelo microcontrolador. O sonar ficou instalado na parte de trás do remo seco e ele media o deslocamento do banco sobre o trilho. O sensor a laser estava sendo preparado para ser instalado e até substituir o sensor ultrassônico no projeto que foi o único a ser realmente testado, porém o sensor a laser não foi concluído a tempo e não pode ser montado na máquina para podermos analisar os seus resultados. Para testar se a máquina remadora poderia ter resultados eficazes no exercício e na coleta de dados de pacientes foi necessário primeiro definir para os testes alguns parâmetros. eles foram duas posições: uma inicial e a outra final em que os pacientes iram ficar alternando entre elas utilizando de extensão e flexão dos joelhos por um determinado tempo. A importância dessas duas posições é primeiro para o feedback no jogo porque se o usuário consegue mudar entre as posições o personagem no jogo responderá se mexendo, e segundo com base na distância da variação de movimento das posições é possível medir a angulação do joelho do usuário durante a utilização do remo. Foram feitos testes com usuários de

ambos os sexos no remo, a amplitude do movimento com o usuário do sexo feminino com altura de 1,58 m no equipamento foi de 24 cm e a amplitude do movimento do usuário masculino com altura de 1,78 m foi de 44 cm.

Conclusão

Em síntese, o trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema de biofeedback aplicado à área de reabilitação utilizando microcontrolador, sensor e um jogo desenvolvido para esta finalidade. O feedback aplicado na área de reabilitação foi instalado em uma máquina remadora adaptada. A integração de sensores, tecnologia IoT e a utilização de uma abordagem interativa baseada em jogos mostraram-se promissoras para monitorar e controlar as funções fisiológicas dos usuários durante o exercício físico. Os resultados obtidos nos testes do protótipo demonstraram a viabilidade técnica do sistema, indicando que a combinação de um dispositivo eletrônico portátil, um microcontrolador IoT e feedback visual pode ser eficaz no contexto de tratamento e diagnóstico de doenças relacionadas à saúde física. Em suma, este trabalho apresentou uma solução viável no qual é possível integrar dispositivos eletro eletrônicos capazes de se comunicar com interface visual para auxiliar positivamente na saúde e no bem estar de pessoas no tratamento de membros inferiores.

Referências

NORTE, Universidade Federal do Rio Grande do. SANTOS, Instituto de Ensino e Pesquisa Alberto. “Dispositivo remo para auxílio da manutenção postural, muscular e óssea”.BR1020200252984. Brasil, 2020.

BERTOLETI, Pedro. “O que são as plataformas IoT e quais são as maiores do mercado.” Newton C. Braga. 2023. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/iot/17606-o-que-sao-as-plataformas-iot-e-quais-sao-as-mai-ores-do-mercado-mic435>. Acesso em: 06 de jun. 2024.

SHOP, Masterwalker. Célula de Carga (Sensor de Peso) 1Kg. 2023. Disponível em: <https://www.masterwalkershop.com.br/celula-de-carga-sensor-de-peso-1kg> . Acesso em: 02 de set. 2024.

ELETROGATE. Módulo Sensor de Distância Ultrassônico. 2024. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04>, Acesso em: 02 de set. 2024

BLOGDAROBOTICA, Como utilizar o Módulo Sensor de distância Laser VL53I0X Com Arduino. 2024. Disponível em: <https://www.blogdarobotica.com/2025/01/13/como-utilizar-o-modulo-sensor-de-distancia-laser-vl53i0x-com-arduino/>. Acesso em: 26 ago. 2025

WEMOS. USUÁRIOS DO FÓRUM PLATFORMIO. Wemos D1 R32 - Any Users?
Community PlatformIO. Disponível em: <https://community.platformio.org/t/wemos-d1-r32-any-users/15304>. Acesso em: 02 de set. 2024

Anexos



Remo seco



ESPDUINO



Sensor Hipersonico



Sensor de força



sensor a laser



JOGO em PYTHON

CÓDIGO: ET1662

AUTOR: ANNA LUZIA COSTA DE SOUZA

ORIENTADOR: FABIANA VILLELA DA MOTTA

TÍTULO: Estudo do efeito sinérgico do processo de sonofotocatálise na heteroestrutura ZnO/Ag₃PO₄ obtida pelo método hidrotérmico assistido por micro-ondas

Resumo

A poluição da água por antibióticos e corantes orgânicos representa um grave problema ambiental e de saúde pública, pois esses compostos são persistentes e favorecem a resistência bacteriana. A fotocatalise, utilizando semicondutores, surge como alternativa promissora para o tratamento de efluentes. Neste trabalho, investigou-se o desempenho de heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄ obtidas por método hidrotérmico assistido por micro-ondas, aplicadas na degradação de poluentes em solução aquosa. Diferentes proporções entre os materiais foram estudadas e caracterizadas por técnicas estruturais, ópticas e morfológicas, que confirmaram a formação de heterojunções n-n eficientes na separação de cargas fotogeradas. Ensaios fotocatalíticos sob radiação solar mostraram alta eficiência na degradação dos corantes azul de metileno e violeta cristal, alcançando remoção superior a 95% em até 30 minutos, além da degradação rápida da tetraciclina, com completa perda de atividade antibacteriana em 20 minutos frente a *E. coli* e *S. aureus*. O material com maior proporção de Ag₃PO₄ (Z75AP) apresentou o melhor desempenho, associado à maior absorção de luz visível e menor recombinação eletrônica. Os resultados confirmam o potencial das heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄ como fotocatalisadores avançados, estáveis e sustentáveis para o tratamento de águas residuais e destoxificação de poluentes emergentes.

Palavras-chave: ZnO; Ag₃PO₄; Sonofotocatálise; Heteroestruturas; Efluentes

TITLE: Study of the synergistic effect of the sonophotocatalysis process on ZnO/Ag₃PO₄ heterostructure obtained by microwave-assisted hydrothermal method

Abstract

Water pollution caused by antibiotics and organic dyes is a serious environmental and public health issue, as these compounds are persistent and contribute to bacterial resistance. Photocatalysis using semiconductors emerges as a promising strategy for wastewater treatment. In this study, ZnO/Ag₃PO₄ heterostructures were synthesized by a

microwave-assisted hydrothermal method and applied to the degradation of aqueous pollutants. Different material ratios were prepared and characterized through structural, optical, and morphological analyses, confirming the formation of n–n heterojunctions that enhanced charge separation. Photocatalytic tests under solar irradiation demonstrated high efficiency in degrading methylene blue and crystal violet dyes, reaching over 95% removal within 30 minutes, as well as rapid tetracycline degradation with complete loss of antibacterial activity against *E. coli* and *S. aureus* in only 20 minutes. The sample containing the highest proportion of Ag_3PO_4 (Z75AP) exhibited the best performance, due to improved visible-light absorption and reduced electron-hole recombination. These findings highlight $\text{ZnO}/\text{Ag}_3\text{PO}_4$ heterostructures as stable and efficient photocatalysts for wastewater treatment and detoxification of emerging contaminants.

Keywords: ZnO ; Ag_3PO_4 ; Sonophotocatalysis; Heterostructures; Wastewater

Introdução

A poluição da água é atualmente um dos maiores desafios ambientais e de saúde pública. O crescimento industrial e o uso indiscriminado de antibióticos e corantes orgânicos têm agravado esse cenário, visto que tais compostos são recalcitrantes e persistem no ambiente aquático por longos períodos. Além de comprometerem a qualidade da água, esses poluentes podem induzir o surgimento de microrganismos resistentes a medicamentos, gerando impactos diretos à saúde humana e aos ecossistemas. A presença desses contaminantes em rios, lagos e efluentes industriais demanda o desenvolvimento de tecnologias inovadoras e sustentáveis para o seu tratamento e destoxificação.

Entre as alternativas propostas, os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm se destacado por sua eficiência na degradação de moléculas orgânicas complexas. Dentre eles, a fotocatálise heterogênea vem recebendo atenção crescente, pois utiliza semicondutores ativados por luz para gerar espécies reativas capazes de oxidar e mineralizar poluentes em subprodutos menos nocivos. O óxido de zinco (ZnO) é um dos materiais mais estudados devido ao seu baixo custo, abundância, estabilidade química e forte atividade fotocatalítica sob radiação ultravioleta. No entanto, sua aplicação prática apresenta limitações, principalmente pela rápida recombinação dos pares elétron-buraco (e^-/h^+) e pela baixa eficiência na absorção de luz visível.

Para superar essas barreiras, diferentes estratégias têm sido empregadas, incluindo a modificação estrutural do ZnO e a formação de heteroestruturas com outros semicondutores. Nesse contexto, o fosfato de prata (Ag_3PO_4) tem se mostrado um material promissor, pois apresenta elevada atividade fotocatalítica sob radiação visível. Quando combinado ao ZnO , forma-se uma heterojunção capaz de ampliar a faixa de absorção de luz e promover a separação mais eficiente das cargas fotogeradas, reduzindo a taxa de recombinação. Essa sinergia resulta em maior geração de espécies oxidativas, como radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$) e superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$), responsáveis pela degradação de poluentes orgânicos complexos.

Estudos recentes demonstram que a associação ZnO/Ag₃PO₄ potencializa significativamente a degradação de corantes e antibióticos, poluentes emergentes amplamente encontrados em águas residuais urbanas e industriais. A eficiência desse sistema está diretamente ligada à proporção entre os materiais e ao método de síntese, que influencia a morfologia, o tamanho de partícula e a área superficial do fotocatalisador. Nesse sentido, o método hidrotérmico assistido por micro-ondas se destaca como uma rota de síntese rápida, econômica e eficiente, favorecendo a formação de nanomateriais cristalinos com boa dispersão e forte interação entre as fases.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo sintetizar heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄ em diferentes proporções pelo método hidrotérmico assistido por micro-ondas, caracterizar suas propriedades estruturais, ópticas e morfológicas, e avaliar seu desempenho na degradação fotocatalítica de poluentes modelo. Foram estudados os corantes azul de metileno e violeta cristal, amplamente utilizados como contaminantes de referência, além do antibiótico tetraciclina, cuja presença em ambientes aquáticos é preocupante devido ao risco de resistência bacteriana. Também foram realizados testes de citotoxicidade para verificar se os produtos da degradação apresentavam atividade antimicrobiana residual.

Este estudo busca contribuir para o desenvolvimento de materiais fotocatalíticos avançados, que combinem eficiência, estabilidade e sustentabilidade, oferecendo alternativas viáveis para o tratamento de efluentes e a mitigação dos impactos ambientais causados por poluentes emergentes.

Metodologia

1. Síntese dos materiais

As heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄ foram obtidas pelo método hidrotérmico assistido por micro-ondas, devido à sua eficiência na formação de nanopartículas homogêneas e de alta cristalinidade. Reagentes de grau analítico foram utilizados: nitrato de zinco, fosfato de amônio, nitrato de prata, hidróxido de amônio e água deionizada.

- Síntese do ZnO: 3,4 g de nitrato de zinco foram dissolvidos em 50 mL de água deionizada, com ajuste de pH para 9 por adição de hidróxido de amônio. A solução foi submetida a tratamento hidrotérmico em autoclave de Teflon, utilizando forno de micro-ondas doméstico (2,45 GHz, 800 W) a 130 °C por 30 minutos. O sólido resultante foi centrifugado, lavado até pH neutro e seco a 100 °C por 24 h.
- Síntese do Ag₃PO₄: foram preparadas duas soluções, uma contendo 1,22 g de nitrato de prata em 25 mL de água deionizada e outra contendo 0,59 g de fosfato de amônio na mesma proporção de solvente. A primeira solução foi adicionada lentamente à segunda, com ajuste de pH para 9. A mistura foi agitada por 10 min e submetida ao mesmo processo hidrotérmico descrito para o ZnO.
- Preparação das heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄: ZnO e Ag₃PO₄ foram misturados em diferentes proporções (25%, 50% e 75% em massa), gerando as amostras denominadas Z25AP, Z50AP e Z75AP. As suspensões foram agitadas por 10 minutos e novamente

submetidas ao tratamento hidrotérmico assistido por micro-ondas nas mesmas condições de síntese.

2. Caracterização dos materiais

As amostras obtidas foram analisadas por diversas técnicas para avaliar sua estrutura cristalina, composição química, morfologia e propriedades ópticas:

- Difração de Raios X (DRX): realizada em equipamento Shimadzu XRD-7000, com radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), na faixa de 10° a 80° , passo de $0,02^\circ$ e velocidade de $1^\circ/\text{min}$. O refinamento de Rietveld foi aplicado para avaliar parâmetros cristalográficos.
- Espectroscopia de Fotoelétrons excitados por Raios X (XPS): utilizada para determinar composição química e estados de oxidação, calibrada com o pico C1s em 284,8 eV.
- Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (FE-SEM): realizada em equipamento Carl Zeiss Supra 35-VP, acoplado a sistema EDX para análise elementar.
- Microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM): obtida em microscópio Jeol JEM-2100, para imagens de alta resolução.
- Área superficial específica (BET): determinada pelo método Brunauer-Emmett-Teller.
- Espectroscopia de Refletância Difusa UV-Vis (DRS): conduzida no intervalo de 200 a 900 nm em espectrofotômetro Shimadzu UV-2600, para estimativa do band gap pelo método de Tauc.
- Espectroscopia de Fotoluminescência (PL): realizada à temperatura ambiente, com laser de excitação de 355 nm.
- Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS) e medidas de fotocorrente transitória: conduzidas em potenciostato Metrohm Autolab PGSTAT129 N.
- Ponto de carga zero (PZC): determinado pelo método de adição de sal em solução de NaCl $0,01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, ajustando o pH inicial entre 2 e 13.

3. Avaliação da atividade fotocatalítica

A eficiência fotocatalítica foi avaliada na degradação de diferentes corantes e do antibiótico tetraciclina.

- Condições dos ensaios: 0,05 g de fotocatalisador foram dispersos em 50 mL de solução aquosa de corante ($10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) e mantidos em agitação no escuro por 30 min para atingir o equilíbrio de adsorção. Em seguida, as amostras foram irradiadas sob luz visível ou solar, com retirada periódica de alíquotas para análise espectroscópica.
- Corantes utilizados: azul de metileno (MB), violeta cristal (CV) e metil orange (MO).
- Antibiótico utilizado: tetraciclina (TC), como contaminante emergente de relevância ambiental.
- Estabilidade dos fotocatalisadores: avaliada em quatro ciclos consecutivos sob irradiação solar, com posterior análise estrutural por DRX e FE-SEM.
- Identificação das espécies reativas: realizada por ensaios com inibidores seletivos, indicando a participação de radicais superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$) e hidroxila ($\bullet\text{OH}$).

4. Ensaios de citotoxicidade

Para verificar a segurança ambiental dos produtos de degradação, a atividade antibacteriana residual da tetraciclina foi avaliada in vitro pelo método de difusão em ágar, conforme protocolos do CLSI.

- Micro-organismos utilizados: *Escherichia coli* (ATCC-25922) e *Staphylococcus aureus* (ATCC-25923).
- Procedimento: amostras antes e após a fotodegradação foram aplicadas em discos estéreis sobre ágar Mueller-Hinton, incubados a 37 °C por 24 h. As zonas de inibição foram medidas e comparadas a controles.
- Controles: gentamicina (10 mg/mL) como controle positivo e solução aquosa como controle negativo.

Resultados e Discussões

1. Análise Estrutural (DRX)

A difração de raios X (DRX) confirmou a formação bem-sucedida das heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄ sem a presença de fases secundárias indesejadas. O ZnO puro apresentou picos característicos da estrutura hexagonal do tipo wurtzita (ICSD 26170), enquanto o Ag₃PO₄ exibiu picos correspondentes à fase cúbica (ICSD 1530). Nos compósitos, foram observados simultaneamente os sinais de ambas as fases, indicando a coexistência e boa interação entre os dois semicondutores. Com o aumento da proporção de Ag₃PO₄, verificou-se a intensificação de seus picos e a diminuição relativa dos picos de ZnO. O refinamento de Rietveld apresentou boa concordância entre dados experimentais e teóricos, sugerindo a formação de heterojunções que favorecem a transferência de cargas.

2. Propriedades Ópticas (Band Gap)

A espectroscopia de refletância difusa (DRS) revelou diferenças significativas na absorção de luz entre os materiais. O ZnO puro apresentou absorção predominante na região do ultravioleta, em torno de 380 nm, correspondente a um band gap de 3,17 eV. Já o Ag₃PO₄ exibiu absorção estendida até a região do visível, em torno de 530 nm, com band gap de 2,45 eV. As heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄ apresentaram valores intermediários, evidenciando a influência da proporção dos materiais no deslocamento da borda de absorção. Esse comportamento confirma que a combinação entre ZnO e Ag₃PO₄ aumenta a utilização da luz visível e melhora a eficiência fotocatalítica, fator essencial para aplicações ambientais sob radiação solar.

3. Análise Morfológica (FEG/SEM e TEM)

As micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (FE-SEM) mostraram que o ZnO apresentou morfologia do tipo nanobastões, bem definidos e com boa homogeneidade. O Ag₃PO₄, por sua vez, apresentou partículas quase esféricas, com distribuição relativamente uniforme. Nos compósitos ZnO/Ag₃PO₄, foi observada a deposição e boa dispersão das partículas de Ag₃PO₄ sobre os nanobastões de ZnO, formando interfaces de contato próximas. Essa configuração morfológica favorece a transferência de cargas entre as fases e reduz a taxa de

recombinação eletrônica, contribuindo para a elevação da atividade fotocatalítica. As imagens de alta resolução obtidas por microscopia eletrônica de transmissão (TEM) confirmaram a íntima interação entre as fases, reforçando a formação de heterojunções eficazes.

4. Avaliação Fotocatalítica – Degradação de Corantes e Antibióticos

A atividade fotocatalítica foi avaliada sob irradiação solar utilizando corantes modelo e o antibiótico tetraciclina (TC).

- ZnO puro: apresentou baixa eficiência, degradando lentamente os poluentes, devido ao seu band gap elevado e limitação na absorção de luz visível.
- Ag_3PO_4 isolado: exibiu atividade inicial elevada, mas sofreu fotocorrosão, o que comprometeu sua estabilidade ao longo do tempo.
- Heteroestruturas ZnO/ Ag_3PO_4 : demonstraram desempenho superior em comparação aos materiais isolados. O compósito com maior proporção de Ag_3PO_4 (Z75AP) foi o mais eficiente, atingindo degradação superior a 95% para os corantes catiônicos azul de metileno (MB) e violeta cristal (CV) em apenas 30 minutos de exposição solar. Para o corante aniônico metil orange (MO), a eficiência foi menor, em torno de 50%, devido a efeitos de repulsão eletrostática entre as moléculas aniônicas e a superfície carregada do fotocatalisador.

No caso da tetraciclina, a amostra Z75AP apresentou desempenho notável, promovendo a degradação quase completa do antibiótico em apenas 20 minutos. Além disso, os testes de citotoxicidade mostraram que os subprodutos formados não apresentaram efeito antibacteriano residual contra *E. coli* e *S. aureus*, indicando a destoxificação dos compostos resultantes.

5. Mecanismo de Fotodegradação

Os resultados obtidos podem ser explicados pela formação de heterojunções n-n entre o ZnO e o Ag_3PO_4 , que promovem a separação espacial das cargas fotoexcitadas (elétrons e lacunas), prolongando seu tempo de vida e aumentando a disponibilidade de elétrons para a geração de espécies reativas, como radicais superóxido ($\cdot\text{O}_2^-$) e hidroxila ($\cdot\text{OH}$). Ensaio com inibidores confirmaram a atuação predominante dos radicais superóxido como principais agentes oxidativos no processo de degradação.

6. Estabilidade dos Fotocatalisadores

A estabilidade e a reusabilidade dos materiais também foram avaliadas em quatro ciclos consecutivos de degradação sob irradiação solar. O desempenho manteve-se praticamente inalterado, confirmando a robustez das heteroestruturas ZnO/ Ag_3PO_4 . As análises pós-uso por DRX e FE-SEM não indicaram alterações estruturais significativas, reforçando o potencial de aplicação desses materiais em processos de tratamento de efluentes de forma contínua.

Os resultados demonstram que a associação entre ZnO e Ag₃PO₄ potencializa a fotocatalise, combinando a estabilidade estrutural do ZnO com a alta absorção visível do Ag₃PO₄. O material com maior teor de Ag₃PO₄ (Z75AP) apresentou melhor desempenho tanto na degradação de corantes catiônicos quanto da tetraciclina, além de gerar subprodutos atóxicos. Esses achados confirmam o grande potencial das heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄ como fotocatalisadores eficientes e sustentáveis para a remediação de poluentes emergentes em ambientes aquáticos.

Conclusão

As heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄ foram sintetizadas com sucesso pelo método hidrotérmico assistido por micro-ondas, resultando em materiais cristalinos e estáveis, sem formação de fases secundárias indesejadas. As análises estruturais, ópticas e morfológicas confirmaram a boa interação entre os semicondutores, com formação de heterojunções n-n capazes de promover a separação eficiente de cargas fotogeradas.

Os ensaios fotocatalíticos sob radiação solar evidenciaram desempenho superior das heteroestruturas em comparação aos materiais isolados. O compósito com maior proporção de Ag₃PO₄ (Z75AP) apresentou a melhor eficiência, alcançando degradação superior a 95% para os corantes azul de metileno e violeta cristal em até 30 minutos e eliminando rapidamente a tetraciclina, com perda completa da atividade antibacteriana em apenas 20 minutos. Além disso, os testes de estabilidade confirmaram a reusabilidade dos materiais sem perda significativa de desempenho.

A análise dos produtos finais mostrou que não houve toxicidade residual frente a *E. coli* e *S. aureus*, evidenciando a destoxificação efetiva dos contaminantes após a fotocatalise. Esses resultados reforçam o potencial das heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄ como fotocatalisadores promissores, sustentáveis e ambientalmente seguros para o tratamento de águas residuais contendo poluentes emergentes, unindo alta eficiência, estabilidade e viabilidade de aplicação em processos de remediação ambiental.

Referências

1. WU, G.-R. et al. Efficient degradation of tetracycline antibiotics by engineered myoglobin with high peroxidase activity. *Molecules*, v. 27, n. 24, p. 8660, 2022.
2. ADHIKARI, S.; LEE, H. H.; KIM, D.-H. Efficient visible-light induced electron-transfer in z-scheme MoO₃/Ag/C₃N₄ for excellent photocatalytic removal of antibiotics of both ofloxacin and tetracycline. *Chemical Engineering Journal*, v. 391, p. 123504, 2020.
3. BEN, Y. et al. Human health risk assessment of antibiotic resistance associated with antibiotic residues in the environment: a review. *Environmental Research*, v. 169, p.

483–493, 2019.

4. AL HALABY, H.; ZARAKET, H.; PRINCIPE, M. Enhanced photoluminescence with dielectric nanostructures: A review. *Results in Optics*, p. 100073, 2021.
5. ALAM, M. W. et al. Enhanced photocatalytic performance of $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{Mn-ZnO}$ nanocomposite for the degradation of tetracycline hydrochloride. *Crystals*, v. 12, n. 8, p. 1156, 2022.
6. AMORIM, C. C. D.; LEÃO, M. M. D.; MOREIRA, R. D. F. P. M. Comparação entre diferentes processos oxidativos avançados para degradação de corante azo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 4, p. 543-550, 2009.
7. SUN, Y. et al. Preparations and applications of zinc oxide based photocatalytic materials. *Advanced Sensors and Energy Materials*, p. 100069, 2023.
8. ZHANG, Q. et al. Photocatalytic performance of $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{BiOBr}$ heterojunctions induced by effective interfacial charge separation. *Desalination and Water Treatment*, v. 300, p. 230–236, 2023.
9. ALTAF, C. T. et al. Impact on the photocatalytic dye degradation of morphology and annealing-induced defects in zinc oxide nanostructures. *ACS Omega*, v. 8, n. 17, p. 14952–14964, 2023.
10. AMIRULSYAFIEE, A.; KHAN, M. M.; HARUNSANI, M. H. Ag_3PO_4 and Ag_3PO_4 -based visible light active photocatalysts: recent progress, synthesis, and photocatalytic applications. *Catalysis Communications*, v. 172, p. 106556, 2022.
11. ICHIPI, E. O.; TICHAPONDWA, S. M.; CHIRWA, E. M. Plasmonic effect and bandgap tailoring of $\text{Ag}/\text{Ag}_2\text{S}$ doped on ZnO nanocomposites for enhanced visible-light photocatalysis. *Advanced Powder Technology*, v. 33, n. 6, p. 103596, 2022.
12. SILVA, J. et al. A study of Nb-doped ZnO ceramic and its enhanced solar photocatalysis, photoluminescence and antimicrobial properties. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 985, p. 173978, 2024.
13. ZHANG, L.; ZHANG, H.; JIANG, B. ZnO nanostructures fabricated by a two-step hydrothermal method for enhanced ethanol sensing. *Microchemical Journal*, p. 112896, 2025.
14. FA, W. et al. $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{Ag}_2\text{CO}_3$ p–n heterojunction composites with enhanced photocatalytic activity under visible light. *Chinese Journal of Catalysis*, v. 36, n. 12, p. 2186–2193, 2015.
15. JIAO, Z. et al. $\text{Ag}/\text{AgCl}/\text{Ag}_2\text{MoO}_4$ composites for visible-light-driven photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 371, p. 67–75, 2019.
16. NETO, N. A. et al. Influence of microwave-assisted hydrothermal treatment time on the crystallinity, morphology and optical properties of ZnWO_4 nanoparticles: photocatalytic activity. *Ceramics International*, v. 46, n. 2, p. 1766–1774, 2020.

Anexos



Fig. 1. Padrões de DRX para ZnO puro e heteroestruturas ZnO/Ag₃PO₄



Fig. 2. (a) Espectros de absorção para ZnO e heteroestruturas ZnO/AgPO e transições indiretas para estimativa do Egap das amostras (b) ZnO, (c) Z25AP, (d) Z50AP e (e) Z75AP.



Fig. 3. Imagens de FE-SEM para as amostras de (a) ZnO, (b) Z25AP, (c) Z50AP e (d) Z75AP.



Fig 4. Degradação fotocatalítica e curvas de ajuste cinético para os corantes (a-c) MB e (b-d) CV.



Fig. 5. (a) Eficiência fotocatalítica contra tetraciclina e teste antimicrobiano para a amostra Z75AP.”

CÓDIGO: ET1682

AUTOR: KAUÁ ADLER DA SILVA SOUZA

ORIENTADOR: MAURICIO ROBERTO BOMIO DELMONTE

TÍTULO: Síntese de heteroestruturas SrTiO₃/BiOIO₃ via método hidrotérmico assistido por micro-ondas para aplicações fotocatalíticas

Resumo

O descarte de corantes orgânicos em corpos d'água representa um grave problema ambiental, afetando a fotossíntese, a biodiversidade aquática e a saúde humana. Métodos convencionais de tratamento mostram-se insuficientes para remover esses poluentes recalcitrantes. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo sintetizar heteroestruturas de SrTiO₃/BiOIO₃ via método hidrotérmico assistido por micro-ondas e avaliar sua performance fotocatalítica na degradação de corantes catiônicos e aniônicos sob luz solar direta. As heteroestruturas foram preparadas em proporções 2:1, 1:1 e 1:2 (SrTiO₃:BiOIO₃) e caracterizadas por DRX, FTIR, MEV-FEG, BET, UV-vis, fotoluminescência e espectroscopia de impedância eletroquímica. Os resultados mostraram que a heteroestrutura 2:1 apresentou maior área superficial específica (47,93 m²/g), band gap reduzido (2,89 eV) e eficiente separação dos pares elétron-lacuna, promovendo a formação de radicais hidroxila e superóxido. Esse material foi capaz de degradar 99% dos corantes testados em 30 minutos, demonstrando estabilidade estrutural e possibilidade de reuso após regeneração térmica. Os achados indicam que a heteroestrutura SrTiO₃/BiOIO₃ é um fotocatalisador promissor para a remediação de efluentes aquáticos, contribuindo para a preservação de ecossistemas e para a mitigação da poluição hídrica.

Palavras-chave: heteroestrutura; fotocatalise; SrTiO₃; BiOIO₃; degradação

TITLE: Synthesis of SrTiO₃/BiOIO₃ Heterostructures via Microwave-Assisted Hydrothermal Method for Photocatalytic Applications

Abstract

The discharge of organic dyes into water bodies is a serious environmental issue, affecting photosynthesis, aquatic biodiversity, and human health. Conventional treatment methods are often ineffective for removing these recalcitrant pollutants. This study aimed to synthesize SrTiO₃/BiOIO₃ heterostructures via microwave-assisted hydrothermal method and evaluate their photocatalytic performance for degrading cationic and anionic dyes under direct sunlight. The heterostructures were prepared in 2:1, 1:1, and 1:2 (SrTiO₃:BiOIO₃) ratios and characterized by X-ray diffraction (XRD),

Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM), BET surface area analysis, UV-vis spectroscopy, photoluminescence (PL), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The 2:1 heterostructure showed the highest specific surface area ($47.93 \text{ m}^2/\text{g}$), a reduced band gap (2.89 eV), and efficient electron-hole separation, promoting the generation of hydroxyl and superoxide radicals. This material degraded approximately 99% of the tested dyes in 30 minutes and exhibited structural stability with the possibility of reuse after thermal regeneration. These findings demonstrate that $\text{SrTiO}_3/\text{BiOI/O}_3$ heterostructures are promising photocatalysts for water remediation, contributing to ecosystem protection and mitigation of water pollution.

Keywords: heterostructure; photocatalysis; SrTiO_3 ; BiOI/O_3 ; degradation

Introdução

O descarte indiscriminado de efluentes industriais representa uma das maiores ameaças aos ecossistemas aquáticos em todo o mundo. Dentre os poluentes mais problemáticos estão os corantes orgânicos; compostos complexos e recalcitrantes que, mesmo em baixíssimas concentrações, alteram drasticamente a cor dos corpos d'água. Este impacto visual é apenas o prenúncio de um problema mais grave. Ao impedir a passagem da luz solar, esses efluentes sufocam a vida aquática ao inibir a fotossíntese, desequilibrando toda a cadeia trófica. Além disso, a toxicidade inerente de muitos desses corantes, com conhecidos efeitos mutagênicos e carcinogênicos, contamina a água que consumimos e se acumula nos organismos vivos, representando um risco direto à biodiversidade e à saúde humana [2]. A grande questão é que os métodos convencionais de tratamento, como filtração e processos biológicos, são ineficazes para remover essas moléculas complexas [2,3], o que torna a busca por tecnologias de remediação inovadoras não apenas necessária,

mas

urgente.

Nesse contexto, os processos oxidativos avançados (POAs), baseados em fotocatalise com semicondutores, surgem como uma alternativa promissora. Essa tecnologia utiliza a energia luminosa, preferencialmente a luz solar, para ativar um material semicondutor, que por sua vez gera espécies reativas de oxigênio capazes de mineralizar os poluentes orgânicos em substâncias menos tóxicas, como CO_2 e água [4,5]. A fotocatalise se destaca por ser um processo ecologicamente correto, que opera em condições ambientes de pressão e temperatura e utiliza uma fonte de energia limpa e abundante [6,7]. Apesar de seu potencial, a eficiência dos fotocatalisadores semicondutores puros é frequentemente limitada por fatores intrínsecos [8]. O titanato de estrôncio (SrTiO_3), por exemplo, é um material com estrutura perovskita que possui alta estabilidade química e propriedades ópticas interessantes [9, 10], mas seu band gap restringe sua atividade, principalmente à região UV do espectro solar, além de apresentar uma elevada taxa de recombinação dos pares elétrons-buraco gerados [11, 12]. Por outro lado, o iodato de óxido de bismuto (BiOI/O_3) tem se mostrado um candidato promissor para aplicações fotocatalíticas devido à sua estrutura cristalina única [13], que lhe confere uma polaridade elétrica intrínseca (piezoelectricidade), facilitando a separação das cargas fotogeradas [14, 15].

As heteroestruturas semicondutoras apresentam-se como uma estratégia eficaz, a fim de superar as suas limitações individuais e potencializar as vantagens de cada material, [8, 16]. A combinação de diferentes materiais permite criar interfaces que otimizam a

separação dos portadores de carga, diminuem a energia de band gap e ampliam a faixa de absorção de luz. Portanto, o objetivo deste trabalho foi sintetizar uma heteroestrutura inédita de SrTiO₃/BiOIO₃ através do método hidrotérmico assistido por micro-ondas. Além disso, buscou-se investigar a influência de diferentes proporções mássicas dos componentes e avaliar a performance fotocatalítica do material otimizado na degradação de corantes catiônicos e aniônicos, isolados e em misturas, sob irradiação solar direta.

Metodologia

2.1. Síntese dos Semicondutores Puros

Síntese do SrTiO₃: A preparação da solução precursora seguiu uma proporção molar de 1:1:30 de isopropóxido de titânio, nitrato de estrôncio e hidróxido de potássio (KOH), respectivamente. Inicialmente, 0,01 mol de isopropóxido de titânio foi vertido em 25 mL de água destilada a 80 °C sob agitação. Em seguida, 0,01 mol de nitrato de estrôncio foi adicionado à mistura. E, subsequentemente, 50 mL de uma solução de KOH 6 mol*L⁻¹ foi incorporada ao sistema. A mistura final foi transferida para uma autoclave de Teflon e submetida a um tratamento hidrotérmico em forno de micro-ondas (2,45 GHz, 800 W) a 140°C por 30 minutos. O pó resultante foi lavado por centrifugação com água destilada e álcool isopropílico e, por fim, seco em estufa a 120 °C por 24 horas.

Síntese do BiOIO₃: O material foi sintetizado utilizando uma proporção equimolar 1:1 dos reagentes. Para isso, 1,25 mmol de nitrato de bismuto penta-hidratado foi dissolvido em 80 mL de água e agitado por 10 minutos. Logo após, 1,25 mmol de iodato de potássio (KIO₃) foi adicionado à solução; mantendo a agitação por mais 10 minutos. A mistura foi então submetida ao mesmo tratamento hidrotérmico assistido por micro-ondas nas condições de 140 °C por 30 minutos. O material obtido foi lavado igual ao procedimento anterior e seco em estufa.

2.2. Síntese das Heteroestruturas SrTiO₃/BiOIO₃

As heteroestruturas foram preparadas em três proporções mássicas distintas: 2:1, 1:1 e 1:2. Tomando como exemplo a síntese da proporção 2:1, uma massa de 0,2 g de SrTiO₃ previamente sintetizada foi dispersa em 20 mL de etilenoglicol e mantida sob agitação por 20 minutos. Paralelamente, preparou-se a solução precursora de BiOIO₃, conforme descrito no item anterior, com quantidades estequiométricas para render 0,1 g do semicondutor. Esta solução precursora foi então adicionada à dispersão de SrTiO₃, agitada por 10 minutos e, em seguida, submetida ao tratamento hidrotérmico a 140 °C por 30 minutos. O processo de lavagem e secagem foi idêntico ao dos materiais puros. As demais proporções (1:1 e 1:2) foram obtidas ajustando-se às massas iniciais dos semicondutores.

2.3. Caracterização dos Materiais

As propriedades estruturais e a composição das fases foram analisadas por difração de raios X (DRX) em um equipamento Shimadzu 7000, com varredura de 10° a 80°. Os grupos funcionais e as ligações químicas foram identificados por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) em um espectrômetro Bruker Vertex 70. A morfologia das amostras foi investigada através de microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG, Carl Zeiss Supra 35-VP). As propriedades texturais, como área de superfície específica e distribuição de poros, foram determinadas

pelo método de adsorção-dessorção de N₂ (BET) em um equipamento Micromeritics ASAP 2420. As propriedades ópticas e a energia de band gap foram calculadas a partir dos espectros de refletância difusa no UV-vis (Shimadzu UV-2600). Para avaliar a taxa de recombinação dos portadores de carga, foram realizadas medidas de fotoluminescência (PL) com excitação a 355 nm. A resistência à transferência de carga na interface foi analisada por espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) em um potenciostato Metrohm Autolab. O potencial de superfície das partículas foi medido por meio do potencial Zeta.

2.4. Ensaios de Atividade Fotocatalítica
A performance dos materiais foi avaliada na degradação do corante azul de metileno (AM) e de duas misturas complexas: uma de corantes catiônicos (AM, verde malaquita e cristal violeta - MIX(+)) e outra de aniônicos (vermelho congo, alaranjado de metila e amarelo de tartrazina - MIX(-)). Os experimentos foram realizados sob luz solar direta, no campus da UFRN em Natal-RN, em maio de 2024. Em um procedimento padrão, 50 mg de fotocatalisador foram adicionados a 50 mL de solução de contaminante na concentração de 15mg*L⁻¹. O sistema foi mantido por 30 minutos sob agitação no escuro para atingir o equilíbrio de adsorção/dessorção. Em seguida, a mistura foi exposta à luz solar por 30 minutos. E depois, alíquotas foram coletadas em intervalos de 5 minutos, centrifugadas e analisadas por espectrofotometria UV-vis para determinar a concentração remanescente do corante. Para investigar o mecanismo de degradação, foram realizados ensaios com sequestradores de radicais e portadores de carga.

Resultados e Discussões

3.1. Análise Estrutural e Morfológica
A análise de Difração de Raios X (DRX) confirmou a síntese bem-sucedida das fases cristalinas dos materiais (Figura 1a). O SrTiO₃ apresentou uma estrutura cúbica (grupo espacial Pm-3m), enquanto o BiOI₃ exibiu uma fase ortorrômbica (grupo espacial Pca21); ambos com alta cristalinidade. Os difratogramas das heteroestruturas revelaram a presença simultânea dos picos característicos de ambas as fases, indicando a coexistência e o acoplamento efetivo dos semicondutores. O refinamento por Rietveld (Gráficos Rietveld) corroborou a estrutura e a pureza das fases sintetizadas. A análise de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) (Figura 1b) complementou os dados, identificando as bandas vibracionais características de cada material e confirmando que a integridade química dos componentes foi preservada durante a síntese.

A morfologia das amostras, observada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV-FEG) (Figura 4), revelou que o SrTiO₃ é composto por aglomerados de nanopartículas esféricas, enquanto o BiOI₃ se apresenta como nanofolhas lisas. A análise do histograma de tamanho de partículas (Histograma Fig S1) mostrou um diâmetro médio de 45,07 nm para as partículas de SrTiO₃. Nas imagens das heteroestruturas, observou-se claramente a deposição das nanoesferas sobre a superfície das nanofolhas. Essa configuração é

fundamental, pois promove a formação de múltiplos pontos de contato, ou heterojunções, essenciais para a transferência de carga.

3.2. Propriedades Ópticas, Eletrônicas e de Superfície
As propriedades ópticas foram investigadas por espectroscopia UV-vis. Os semicondutores puros apresentaram valores de band gap próximos; 3,22 eV (SrTiO_3) e 3,20 eV (BiOIO_3). No entanto, a heteroestrutura na proporção 2:1 resultou em uma redução significativa do band gap para 2,89 eV; deslocando a absorção óptica do material para a região da luz visível e permitindo um maior aproveitamento do espectro solar. A eficiência da separação dos pares elétron-buraco foi avaliada por fotoluminescência (PL) (Figura 3). O SrTiO_3 puro exibiu uma intensa banda de emissão, indicando alta taxa de recombinação de cargas. Em contraste, a intensidade de PL das heteroestruturas foi drasticamente reduzida, provando que a interface entre os materiais suprime a recombinação e aumenta o tempo de vida dos portadores de carga. As propriedades texturais foram analisadas por adsorção-dessorção de N_2 (BET) (Figura 5). Todas as amostras exibiram isotermas do tipo IV, características de materiais mesoporosos. O SrTiO_3 apresentou maior área de superfície específica ($37,71 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) que o BiOIO_3 ($13,95 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$). A heteroestrutura 2:1 resultou em um aumento sinérgico da área superficial para $47,93 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, o maior valor entre todas as amostras. Esse aumento disponibiliza um número maior de sítios ativos para as reações fotocatalíticas.

3.3. Performance Fotocatalítica e Mecanismo de Degradação
Os ensaios de fotocatalise sob luz solar direta (Figura 6) demonstraram a superioridade da heteroestrutura. Nos testes com azul de metileno e misturas de corantes (MIX+ e MIX-), a heteroestrutura 2:1 alcançou uma eficiência de degradação de aproximadamente 99% em apenas 30 minutos, superando com folga os materiais puros e a fotólise. Este resultado prova sua alta eficiência e versatilidade em sistemas complexos. Com base nos dados, foi proposto um mecanismo de heterojunção do tipo Z-esquema direto (Figura 7). Neste modelo, os elétrons e buracos com menor potencial redox se recombinam na interface, preservando os elétrons com maior potencial de redução (na BC do SrTiO_3) e as lacunas com maior potencial de oxidação (na BV do BiOIO_3). Isso otimiza a geração das espécies reativas mais importantes para a degradação: o radical superóxido ($\bullet\text{O}_2^-$) e o radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$). A participação crucial dessas espécies foi confirmada experimentalmente através de testes com sequestradores de radicais (Figura 8), onde a adição dos inibidores de $\bullet\text{OH}$ e $\bullet\text{O}_2^-$ diminuiu a eficiência da degradação.

3.4. Estabilidade e Reuso
A estabilidade e a capacidade de reuso do fotocatalisador são cruciais e são uma das principais justificativas para necessidade dessas heteroestruturas e sua aplicação na prática. O BiOIO_3 teve a característica de perder a sua eficiência durante o reuso. Mas a heteroestrutura 2:1 demonstrou excelente fotoestabilidade ao longo de múltiplos ciclos de degradação (Figura 9). Embora tenha sido observada uma redução na eficiência após o quarto ciclo, atribuída à saturação da superfície, a atividade catalítica foi completamente restaurada após um simples tratamento térmico. A análise de DRX após os ciclos confirmou que a estrutura cristalina da heteroestrutura permaneceu intacta, atestando sua alta durabilidade

Conclusão

O estudo realizado demonstrou com sucesso a síntese de uma nova heteroestrutura fotocatalítica à base de SrTiO₃ e BiOIO₃ pelo método hidrotérmico assistido por micro-ondas. A otimização da proporção mássica entre os componentes foi um fator determinante para a performance do material, sendo a composição 2:1–SrTiO₃/BiOIO₃ a que apresentou os resultados mais promissores. A superioridade fotocatalítica desta heteroestrutura, que foi capaz de degradar quase 100% de diferentes corantes orgânicos em apenas 30 minutos de exposição à luz solar, é atribuída a um conjunto sinérgico de propriedades otimizadas. A combinação dos semicondutores resultou em uma significativa redução da energia de band gap para 2,89 eV, ampliando a absorção de luz para a região visível do espectro. Tendo um aumento da área de superfície específica para 47,93m²g⁻¹, provendo mais sítios ativos, e, crucialmente, uma drástica supressão da taxa de recombinação dos pares elétron-lacuna, como evidenciado pelas análises de PL e EIE. O mecanismo de heterojunção do tipo Z-esquema direto foi identificado como o principal responsável pela separação eficiente das cargas fotogeradas, maximizando a produção de radicais hidroxila e superóxido, que são as espécies oxidantes primárias no processo de degradação. Além de sua alta eficiência, o material demonstrou excelente estabilidade estrutural e a capacidade de ser reutilizado após um simples processo de regeneração por tratamento térmico.

Portanto, a heteroestrutura SrTiO₃/BiOIO₃ se apresenta como um fotocatalisador promissor em aplicações de remediação ambiental, pois ele é capaz de atuar diretamente no problema da poluição hídrica. A tecnologia de fotocatalise a base de um catalisador de SrTiO₃/BiOIO₃ é uma barreira crucial para impedir que os corantes orgânicos, substâncias tóxicas, alcancem os corpos hídricos e os poluam, pois esta técnica possui a capacidade de degradar esses contaminantes. Dessa forma, o desenvolvimento desse tipo de material contribui significativamente para a proteção dos ecossistemas aquáticos, por prevenir a contaminação do mesmo, e para a preservação da vida marinha.

Referências

- [1] S. Kanan, M. Moyet, K. Obeideen, Y. El-Sayed, and A.A. Mohamed, "Occurrence, analysis and removal of pesticides, hormones, pharmaceuticals, and other contaminants in soil and water streams for the past two decades: a review, 2022, Springer Science and Business Media B.V. doi: 10.1007/s11164-022-04778-7.
- [2] P. Senthil Kumar, A. Saravanan, Sustainable waste water treatment technologies, Detox Fash. Singap. (2018) 1-25, <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4780-01>.
- [3] D. Kanakaraju, B.D. Glass, and M. Oelgemöller, Advanced oxidation process-mediated removal of pharmaceuticals from water: A review, Aug. 01, 2018, Academic Press. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.04.103.
- [4] M.M. Maroneze, L.Q. Zepka, J.G. Vieira, M.I. Queiroz, E. Jacob-Lopes, A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais, Rev. Ambient. e Agua 9 (3) (2014) 445-458, <https://doi.org/10.4136/1980-993X>.
- [5] D.B. Miklos, C. Remy, M. Jekel, K.G. Linden, J.E. Drewes, and U. Hübner, Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment-a

- critical review, 2018, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.watres.2018.03.042.
- [6] W.S. Koe, J.W. Lee, W.C. Chong, Y.L. Pang, and L.C. Sim, An Overview of Photocatalytic Degradation: Photocatalysts, Mechanisms, and Development of Photocatalytic Membrane, 2020, Springer. doi: 10.1007/s11356-019-07193-5.
- [7] L.V. Bora and R.K. Mewada, Visible/Solar Light Active Photocatalysts for Organic Effluent Treatment: Fundamentals, Mechanisms and Parametric Review, 2017, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.rser.2017.01.130.
- [8] M.-J. Fang, C.-W. Tsao, Y.-J. Hsu, Semiconductor nanoheterostructures for photoconversion applications, J. Phys. D: Appl. Phys. 53 (14) (Apr. 2020) 143001, <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab5f25>.
- [9] M.A. Ferreira, et al., Fabrication of SrTiO₃/g-C₃N₄ heterostructures for visible light-induced photocatalysis, Mater. Sci. Semicond. Process 108 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.104867>.
- [10] M. Kobayashi, et al., Low-temperature hydrothermal synthesis and characterization of SrTiO₃ photocatalysts for NO_x degradation, J. Ceram. Soc. Jpn. 126 (2) (2018) 135-138, <https://doi.org/10.2109/jcersj2.17195>.
- [11] H. Tan, et al., Oxygen vacancy enhanced photocatalytic activity of perovskite SrTiO₃, ACS Appl. Mater. Interfaces 6 (21) (2014) 19184-19190, <https://doi.org/10.1021/am5051907>.
- [12] H. Bentour, M. El Yadari, A. El Kenz, A. Benyoussef, DFT study of electronic and optical properties of (S-Mn) co-doped SrTiO₃ for enhanced photocatalytic hydrogen production, Solid State Commun. 312 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2020.113893>.
- [13] X. Kuang, et al., A BIOIO₃/BIOBr n-n heterojunction was constructed to enhance the photocatalytic degradation of TC, Opt. Mater. 138 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.113690>.
- [14] H. Hu, et al., Synthesis of a BIOIO₃/B1204 heterojunction that can efficiently degrade rhodamine B and ciprofloxacin under visible light, Opt. Mater. 133 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112893>.
- [15] J. Li, J. Xie, X. Zhang, E. Lu, Y. Cao, The solid-state synthesis of BIOIO₃ nanoplates with boosted photocatalytic degradation ability for organic contaminants, Molecules 28 (9) (2023), <https://doi.org/10.3390/molecules28093681>.
- [16] H. Yang, A short review on heterojunction photocatalysts: Carrier transfer behavior and photocatalytic mechanisms, 2021, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.materresbull.2021.111406.
- [17] H.D. Megaw, Crystal structure of double oxides of the perovskite type, Proc. Phys. Soc. 58 (2) (1946) 133-152, <https://doi.org/10.1088/0959-5309/58/2/301>.
- [18] S.D. Nguyen, J. Yeon, S.-H. Kim, P.S. Halasyamani, BIO(103): a new polar iodate that exhibits an aurivillius-Type (Bi₂O₂)²⁺ layer and a large SHG response, J. Am. Chem. Soc. 133 (32) (2011) 12422-12425, <https://doi.org/10.1021/ja205456b>.
- [19] A. Divya, et al., Synthesis and characterization of branchlet-like SrCO₃ nanorods using triethylamine as a capping agent by wet chemical method, Appl. Surf. Sci. 487 (2019) 1271-1278, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.173>.
- [20] E. Rocha-Rangel, et al., Synthesis of SrTiO₃ by the calcination of SrCO₃ and TiO₂ mixtures intensively ground by means of high energy milling, Arch. Metall. Mater. 65 (2) (2020) 621-626, <https://doi.org/10.24425/amm.2020.132801>.
- [21] H.A.J.L. Mourão, O.F. Lopes, C. Ribeiro, V.R. Mastelaro, Rapid hydrothermal synthesis and pH-dependent photocatalysis of strontium titanate microspheres, Mater. Sci. Semicond. Process 30 (2015) 651-657, <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2014.09.022>.

- [22] Y. Wang, et al., Ultrathin layered structure and oxygen vacancies mediated efficient charge separation toward high photocatalytic activity in BIOIO₃ nanosheets, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 16 (5) (2024) 5977-5988, <https://doi.org/10.1021/acsami.3c17554>.
- [23] S. Patial, V. Hasija, P. Raizada, P. Singh, A.A.P. Khan Singh, A.M. Asiri, Tunable photocatalytic activity of SrTiO₃ for water splitting: Strategies and future scenario, *J. Environ. Chem. Eng.* 8 (3) (2020), <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103791>.
- [24] J. Chen, H. Lei, S. Ji, M. Wu, B. Zhou, X. Dong, Synergistic catalysis of BIOIO₃ catalyst for elimination of organic pollutants under simultaneous photo-irradiation and ultrasound-vibration treatment, *J. Colloid Interface Sci.* 601 (2021) 704-713, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.05.151>.
- [25] K. Aravinthkumar, E. Praveen, A. Jacqueline Regina Mary, C. Raja Mohan, Investigation on SrTiO₃ nanoparticles as a photocatalyst for enhanced photocatalytic activity and photovoltaic applications, *Inorg. Chem. Commun.* 140 (2022) 109451, <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.109451>.
- [26] M. Thommes, et al., Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.* 87 (9-10) (2015) 1051-1069, <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>.

Anexos



Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7



Graphical abstract



histograma Fig S1



Gráficos rietveld



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 9



Fig. 8

CÓDIGO: ET1684

AUTOR: GEIZA SILVA SANTOS

COAUTOR: DEBORA SABRINA BORTOLUSSI

COAUTOR: ANNE MILENA DA SILVA

COAUTOR: JEFFERSON OLIVEIRA SILVA

COAUTOR: LARA FERNANDES DE MEDEIROS

ORIENTADOR: KARINA PATRICIA VIEIRA DA CUNHA

TÍTULO: ÍNDICES DE POLUIÇÃO DO SOLO POR METAIS PESADOS EM LIXÕES DESATIVADOS: AVALIAÇÃO DE RISCOS ECOLÓGICOS E RISCOS À SAÚDE HUMANA

Resumo

O crescimento populacional e os padrões de consumo ampliaram a geração de resíduos sólidos urbanos, e a ausência de uma gestão integrada tem levado muitos municípios a recorrerem aos lixões a céu aberto como destino final. Essa prática favorece a contaminação do solo por metais pesados, elementos persistentes no ambiente e potencialmente riscos à saúde humana e ao ecossistema. Este estudo teve como objetivo avaliar a poluição do solo por metais pesados em um lixão desativado no município de Serra Caiada/RN, bem como estimar os riscos ecológicos e à saúde humana. Foram coletadas amostras de solo no lixão e em área de vegetação nativa, analisadas para Cu, Ni, Pb, Zn, Cr. Os índices de poluição indicaram contaminação moderada por Zn e baixa pelos demais metais, enquanto o Igeo apontou solo de moderado a fortemente poluído por Zn e moderadamente poluído por Cr. O PLI classificou a área como não poluída e o risco ecológico foi baixo. A avaliação de risco à saúde mostrou que, apesar dos riscos carcinogênicos totais aceitáveis, crianças apresentam maior vulnerabilidade à exposição. Conclui-se que o lixão desativado ainda representa risco potencial, reforçando a necessidade de monitoramento e manejo ambiental.

Palavras-chave: Solo contaminado, Resíduos sólidos urbanos.

TITLE: Soil Pollution Indices by Heavy Metals in Deactivated Dumps: Assessment of Ecological and Human Health Risks

Abstract

Population growth and consumption patterns have increased the generation of urban solid waste, and the lack of integrated management has led many municipalities to resort to open-air dumps as the final disposal method. This practice favors soil contamination by heavy metals, which are persistent in the environment and potentially pose risks to human health and ecosystems. This study aimed to assess soil pollution by heavy metals in a decommissioned landfill in the municipality of Serra Caiada/RN, as well as to estimate ecological and human health risks. Soil samples were collected from the landfill and from an area of native vegetation and analyzed for Cu, Ni, Pb, Zn, and Cr. Pollution indices indicated moderate contamination by Zn and low contamination by the other metals, while the Igeo showed soil ranging from moderately to heavily polluted by Zn and moderately polluted by Cr. The PLI classified the area as unpolluted, and ecological risk was low. The human health risk assessment showed that, although total carcinogenic risks were acceptable, children are more vulnerable to exposure. It is concluded that the decommissioned landfill still represents a potential risk, reinforcing the need for environmental monitoring and management.

Keywords: Contaminated soil, Urban solid waste.

Introdução

O crescimento populacional aliado ao padrão de consumo da sociedade tem intensificado a geração de resíduos sólidos urbanos. Esse crescimento de resíduos sólidos tem sido cada vez mais uma preocupação global. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) publicada em 2010, estabelece metas que incluem a implementação de sistemas de logística reversa, a substituição dos lixões por aterros sanitários e a elaboração de planos de gestão de resíduos (Brasil, 2010). Entretanto, o elevado custo dessas medidas representa um entrave significativo, dificultando sua efetiva implantação em muitos municípios. Muitos municípios ainda utilizam lixões a céu aberto para a disposição dos resíduos, que podem causar contaminação por substâncias químicas potencialmente tóxicas, carcinogênicas ou mutagênicas (Gunther, 2011). A contaminação por metais pesados representa uma preocupação significativa devido à sua persistência no solo. Esses metais não se degradam facilmente, acumulando-se em solos, sedimentos e organismos vivos ao longo do tempo. Essa característica aumenta o potencial de bioacumulação e os riscos associados à exposição humana e dos ecossistemas (Ali et al., 2019). A exposição humana, com potenciais riscos à saúde, pode ocorrer de forma simultânea por três vias principais: inalação de gases ou material particulado; ingestão de água, vegetais ou animais contaminados; e contato dérmico com o solo ou materiais poluídos (Câmara, 2002). As crianças são reconhecidamente mais suscetíveis à contaminação por metais pesados no solo do que os adultos, em função de características fisiológicas, comportamentais e ambientais. Essa maior vulnerabilidade está relacionada, sobretudo, à menor massa corporal, que faz com que uma mesma quantidade de contaminante represente uma dose proporcionalmente mais elevada, além da imaturidade dos sistemas metabólico e excretor, que limita a capacidade de detoxificação. Sob a perspectiva comportamental, a exposição é intensificada pelo contato frequente com o solo durante brincadeiras, pelo

hábito de levar objetos e mãos à boca e pelo maior consumo relativo de alimentos e água. Somam-se a esses fatores as condições ambientais, uma vez que a proximidade física com o solo e a permanência prolongada em ambientes externos aumentam o risco de contato com partículas contaminadas. Assim, crianças configuram-se como um grupo particularmente sensível em avaliações de risco à saúde humana em áreas sujeitas à presença de metais pesados no solo (U.S. EPA, 2008). Diante desse contexto, torna-se fundamental analisar os índices de poluição por metais pesados em solos de lixões desativados, com o objetivo de avaliar os riscos ecológicos e à saúde humana, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de manejo ambiental mais seguras e eficientes.

Metodologia

A área de estudo é um lixão, atualmente desativado, com área total de 16.100 m². O lixão está localizado no município de Serra Caiada, no estado do Rio Grande do Norte, nas coordenadas geográficas (6°05'44"S 35°43'04"W) pertencente a bacia do rio Potengi (Figura 1). A área em questão esteve em operação por um período de 8 anos e encontra-se desativada há 11 anos sem que tenham sido realizadas qualquer ação de recuperação. Atualmente a área vem sendo utilizada para o plantio agrícola. A estimativa populacional mais recente do município, indica um total de 11.146 habitantes em 2024 (IBGE, 2025). O clima no município é classificado como BSh, tropical semiárido, com temperatura média anual variando em torno de 25,8 °C (Alvares et al., 2013). O tipo de solo predominante no município é Argissolo amarelo, (Figura 2). A coleta das amostras de solo foi feita na profundidade de 0 a 40 cm, de forma aleatória. Cada amostra composta foi formada a partir de cinco amostras simples. O procedimento foi realizado na área do lixão e também em uma área com cobertura vegetal conservada, com o objetivo de comparação e avaliação do grau de contaminação. Foram determinados os teores de metais pesados: Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Cromo (Cr) e Manganês (Mn). A digestão das amostras foi realizada pelo método 3051A (USEPA, 1998). A leitura dos metais foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica. Com base nos dados obtidos, foi possível calcular diferentes índices de poluição do solo por metais pesados, tais como: Índice de Poluição por Metal (IMP), Índice de Geoacumulação (Igeo) e Índice de Carga de Poluição (PLI). Além disso, aplicaram-se métodos de avaliação de risco à saúde ecológica e humana, incluindo: Índice de Potencial Risco Ecológico, ingestão de metais pesados pelo solo, inalação de partículas contaminadas, contato dérmico com o solo, bem como o cálculo do Quociente de Risco (HQ), do Índice de Risco (HI) e do Risco de Câncer (CR). Esses índices são essenciais para diagnosticar o grau de poluição pelos metais pesados, e possíveis riscos ecológicos e à saúde humana.

Resultados e Discussões

As concentrações médias de metais pesados no solo do lixão apresentaram variação de 0,38 a 69,38 mg kg⁻¹ (Figura 3). Cr ocorreu em menor concentração, enquanto o Zn apresentou os maiores teores. A distribuição decrescente das concentrações médias foi a seguinte: Zn > Pb > Ni > Cu > Cr. Quando comparados aos Valores de Qualidade de Referência (VQR), constatou-se que apenas o Cr excedeu os limites estabelecidos, indicando um possível risco de contaminação associado a esse elemento (Figura 4). Com base nos índices de poluição por metais pesados, o Índice de Poluição por Metal (IMP) indicou que o solo do lixão apresenta contaminação moderada por Zn e baixa contaminação por Pb, Ni, Cu e Cr (Figura 5). Os resultados do Índice de Geoacumulação (Igeo) para metais pesados no solo do lixão revelaram condições de moderado a fortemente poluído por Zn, moderadamente poluído por Cr e pouco a moderadamente poluído por Ni, Pb e Cu, tendo como referência os valores obtidos em área de vegetação nativa (Figura 6). A elevada concentração desses elementos representa um potencial risco ambiental, podendo comprometer a bacia hidrográfica na qual o lixão está inserido. Considerando a dinâmica do solo, há possibilidade de carreamento de partículas contaminadas para áreas adjacentes, além do risco de bioacumulação ao longo da cadeia trófica. O resultado do Índice de Carga de Poluição (PLI) no solo do lixão estudado indicou o solo como não poluído (Figura 7). Índice de Potencial Risco Ecológico, os metais exibiram baixo risco potencial. Os resultados das doses médias diárias (ADI) de metais pesados no solo do lixão, calculadas para as vias de ingestão, inalação e contato dérmico, indicaram variações de acordo com cada metal, tanto para efeitos não cancerígenos, quanto cancerígenos. Nos resultados apresentados para Quociente de risco (HQ) e índice de risco (HI), as crianças apresentaram maior potencial de risco. As crianças são mais vulneráveis à intoxicação por metais pesados, pois seu cérebro e sistema nervoso ainda estão em desenvolvimento, apresentam maior propensão à ingestão de substâncias perigosas e possuem taxas de absorção mais elevadas e maior sensibilidade da hemoglobina em comparação aos adultos (Hammond, 1982). Os valores estimados para Cr pelas vias de inalação e dérmica, assim como para Ni pela via oral, foram muito baixos, indicando risco insignificante. O risco carcinogênico total (CRt), considerando todas as vias de exposição e os metais avaliados, manteve-se dentro da faixa aceitável. Dessa forma, nenhum valor ultrapassou o limite de tolerância estabelecido, não sendo identificado risco carcinogênico significativo.

Conclusão

A disposição final de resíduos sólidos no lixão desativado do município de Serra Caiada/RN resultou na presença de metais pesados no solo, evidenciando potenciais riscos ecológicos e à saúde humana. Embora o risco carcinogênico total (CRt) tenha permanecido dentro da faixa aceitável, indicando ausência de risco significativo, a possibilidade de contaminação persiste, sobretudo pela maior vulnerabilidade das crianças frente à exposição a esses contaminantes. Atualmente, a área do antigo lixão é utilizada para atividades agrícolas, o que amplia a preocupação, já que a persistência dos metais no ambiente pode favorecer processos de bioacumulação e, consequentemente, sua entrada na cadeia alimentar. É de extrema importância o monitoramento dessas áreas de lixões desativados, e à adoção de estratégias de manejo ambiental adequadas.

Referências

ALI, H.; KHAN, E.; ILAHI, I. Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. Journal of Chemistry, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>

Alvares, c. a.; Stape, J. l., Sentelhas, P. C., de Moraes, G., Leonardo, J., & Sparovek, G., 2013: köppen's climate classification map for brazil. meteorologische zeitschrift, 22 (6), 711-728. 2013 Acesso em: file:///C:/Users/ml/Downloads/metz_Vol_22_No_6_p711-728_Koppens_climate_classification_map_for_Brazil_82078%20(1).pdf

BRASIL. Decreto Lei nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (2010b). Regulamenta a Lei Federal No . 12.305, de 02.08.2010, e estabelece normas para a execução da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário Oficial da União.

GALVÃO, Ana Cláudia de Andrade. Índices de poluição do solo por metais pesados e riscos ecológicos e a saúde humana em lixo no semiárido. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

GUNTHER, Wanda. Gestão de Resíduos Sólidos: uma questão de saúde nas cidades. PNMA, v. 30, p. 203, 2011.

Hammond, P. C.: 1982, 'Metabolism of Lead', in J. J. Chisolm Jr. And D. M. O'Hara (Eds), Lead Absorption in Children: Management, Clinical, and Environmental Aspects, Urban and Schwarzenberg, Baltimore, Munich.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/serra-caiada/panorama>

U.S. EPA. Child-Specific Exposure Factors Handbook (2008, Final Report). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-06/096F, 2008.

Preston, w., nascimento, c. w. a., biondi, c. m., souza junior, v. s., silva, w. r., ferreira, h. a. valores de referência de qualidade para metais pesados em solo do rio grande do norte. revista brasileira de ciência do solo, v.38, n.3, 2014.

Anexos



Figura 1 - Mapa de localização do município de Serra Caiada/RN.



Figura 2 - Mapa da pedologia do município de Serra Caiada/RN.



Figura 3 - Concentrações de Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Cromo (Cr) em solos de lixão desativado no município de Serra Caiada/RN.



Figura 4 - Médias das concentrações de metais pesados no lixão desativado e da área de vegetação nativa no município de Serra Caiada/RN.



Figura 5 - Gráfico com Índice de Poluição por Metal (IMP) para o solo do lixão Serra Caiada/RN.



Figura 6 - Gráfico com Índice de Geoacumulação (Igeo) para o solo do lixão Serra Caiada/RN.



Figura 7 - Gráfico classificação de Risco de câncer (CR) para o solo do lixão Serra Caiada/RN.

CÓDIGO: ET1699

AUTOR: BARBRA JULIA DE ARAÚJO SILVA

ORIENTADOR: LINDEMBERG DE JESUS NOGUEIRA DUARTE

TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO, ANÁLISE E SELEÇÃO DE TÉCNICAS PARA PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS -UM ESTUDO TEÓRICO

Resumo

O biogás, obtido pela digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, apresenta-se como alternativa promissora aos combustíveis fósseis, integrando soluções de energia renovável e gestão de resíduos. No entanto, sua composição inclui contaminantes como dióxido de carbono (CO_2) e sulfeto de hidrogênio (H_2S), que reduzem o valor energético, causam corrosão e elevam impactos ambientais. Este estudo avaliou o biogás produzido em dois locais distintos que utilizam o mesmo modelo de biodigestor, caracterizando sua composição e comparando métodos de purificação. A análise contemplou alternativas como palha de aço oxidada e carvão ativado impregnado, discutindo sua eficiência, custo-benefício e aplicabilidade prática. Os resultados reforçam que a escolha adequada das técnicas de purificação é fundamental para ampliar a qualidade, segurança e sustentabilidade do biogás, consolidando-o como vetor estratégico na transição energética.

Palavras-chave: Biogás, Purificação, Sustentabilidade.

TITLE: CHARACTERIZATION, ANALYSIS, AND SELECTION OF TECHNIQUES FOR BIOGAS PURIFICATION - A THEORETICAL STUDY

Abstract

Biogas, obtained through anaerobic digestion of organic residues, emerges as a promising alternative to fossil fuels, combining renewable energy generation and waste management. However, its composition includes contaminants such as carbon dioxide (CO_2) and hydrogen sulfide (H_2S), which reduce energy value, cause corrosion, and increase environmental impacts. This study evaluated biogas produced at two different sites using the same biodigester model, characterizing its composition and comparing purification methods. Alternatives such as oxidized steel wool and impregnated activated carbon were analyzed regarding efficiency, cost-effectiveness, and practical applicability. The findings highlight that the proper selection of purification techniques

is crucial to enhance biogas quality, safety, and sustainability, reinforcing its role as a strategic vector in the energy transition.

Keywords: Biogas, Purification, Sustainability.

Introdução

Ao longo da história, os combustíveis fósseis desempenharam papel central no desenvolvimento industrial e tecnológico, impulsionando setores essenciais como a geração de energia e o transporte. Sua elevada densidade energética possibilitou avanços expressivos na economia global, mas também acarretou consequências ambientais relevantes. Atualmente, essas fontes figuram entre os principais emissores de gases de efeito estufa, contribuindo para o agravamento das mudanças climáticas. Além disso, tratam-se de recursos não renováveis, formados ao longo de milhões de anos sob condições específicas de pressão e temperatura, o que torna suas reservas limitadas e de reposição extremamente lenta.

O avanço tecnológico, aliado à crescente preocupação com as mudanças climáticas e à conscientização sobre o aquecimento global, impulsionou a busca por alternativas energéticas que unissem viabilidade econômica, caráter renovável e menor impacto ambiental. Nesse cenário, surgiram os biocombustíveis, produzidos majoritariamente a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e urbanos, capazes de oferecer alta eficiência energética e reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa. Entre os mais difundidos estão o bioetanol, o biodiesel e o biogás.

O biogás é obtido pela degradação biológica da matéria orgânica na ausência de oxigênio, processo conhecido como digestão anaeróbia. Sua composição principal inclui metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), podendo conter ainda contaminantes como sulfeto de hidrogênio (H_2S), amônia (NH_3) e vapor de água. Segundo o Portal do Biogás, a formação desse combustível ocorre naturalmente em locais como pântanos, esgotos e aterros sanitários, mas pode ser controlada em biodigestores, reduzindo a liberação direta de metano na atmosfera e contribuindo para a mitigação dos gases de efeito estufa.

Apesar do potencial, o biogás enfrenta desafios relacionados à sua composição. O H_2S é altamente tóxico e corrosivo, reduzindo a durabilidade dos equipamentos e exigindo etapas de purificação. O CO_2 , embora não seja tóxico, é considerado um contaminante por diminuir o poder calorífico do biogás, além de contribuir para o efeito estufa quando liberado. Assim, a remoção do CO_2 é fundamental em aplicações industriais e na produção de biometano, agregando valor ao combustível e alinhando-o a estratégias de sustentabilidade e neutralidade de carbono.

De acordo com Chowdhury et al. (2025), a competitividade dos biocombustíveis ainda é limitada por barreiras técnicas e econômicas. O biodiesel, por exemplo, requer processos adicionais para remover impurezas como glicerina; o bio-óleo obtido por pirólise apresenta alto teor de oxigênio, necessitando de refino; e os combustíveis derivados de microalgas sofrem com altos custos de produção e baixa eficiência

energética. O biogás, entretanto, destaca-se como alternativa viável dentro da economia circular, especialmente quando associado a tecnologias de purificação que eliminam contaminantes e aumentam sua qualidade para uso energético.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar biogás, considerando as variações relacionadas ao tipo de biodigestor empregado, às matérias-primas utilizadas e à composição dos gases gerados. A partir dessa análise, serão comparados os principais métodos de purificação disponíveis, tanto para a remoção do H_2S quanto do CO_2 , de modo a identificar e recomendar as técnicas mais adequadas em termos de eficiência, custo-benefício e aplicabilidade prática para cada sistema estudado.

Metodologia

Caracterização dos biodigestores e substratos

Para viabilizar o estudo e a seleção de técnicas de purificação, foram escolhidos e avaliados dois locais distintos de produção de biogás, nos quais se realizaram medições de composição e caracterização do gás gerado. Em ambos os locais, foram conduzidas três análises consecutivas, em triplicata, com intervalos de aproximadamente dois minutos entre cada medição, a fim de garantir a confiabilidade dos dados obtidos.

A empresa Bioma Soluções Ambientais, em parceria com a HomeBiogás Brasil, foi responsável pela instalação e ativação dos biodigestores implantados nas duas instituições visitadas: o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Rio Grande do Norte (SEBRAE-RN) e o Centro de Educação Profissional Senac Barreira Roxa. Os equipamentos instalados são biodigestores autônomos do modelo HomeBiogás 7.0, classificados como residenciais de grande porte, capazes de converter resíduos orgânicos e esterco animal em biogás e biofertilizante líquido, proporcionando uma solução sustentável para a gestão de resíduos e geração de energia. Esses sistemas possuem capacidade de processar até 10 kg/dia de resíduos orgânicos ou 60 kg/dia de esterco animal, produzindo biogás suficiente para aproximadamente 4 a 6 horas de uso diário em fogões adaptados e entre 10 e 100 litros de biofertilizante rico em nutrientes. Com volume de digestor de cerca de 4.300 litros e ocupando uma área aproximada de 10 m², o equipamento não requer eletricidade para operar e tem vida útil estimada de 15 anos. Seu funcionamento ideal ocorre em temperaturas acima de 20 °C, preferencialmente em locais externos, planos, com boa drenagem e exposição solar. O sistema exige alimentação diária, remoção periódica do biofertilizante e inspeções básicas, sendo o biogás gerado compatível com fogões convencionais adaptados.

A matéria-prima utilizada nos dois sistemas analisados é composta por resíduos orgânicos gerados nos próprios locais, sendo majoritariamente restos alimentares como arroz, feijão, legumes, frutas, carnes e outros resíduos provenientes do preparo e consumo de alimentos. Esses materiais são selecionados de forma a excluir componentes contaminantes ou não biodegradáveis, assegurando a qualidade do substrato destinado ao processo de biodigestão. Destaca-se, entre os insumos utilizados,

a borra de café, cuja adição contribui para o aumento da produção de biogás, em razão de sua composição química favorável à atividade microbiana envolvida na digestão anaeróbica. Por outro lado, evita-se a inclusão de resíduos cítricos, como cascas e polpas de frutas ácidas, devido à presença de compostos potencialmente tóxicos aos microrganismos metanogênicos, como óleos essenciais (por exemplo, o limoneno) e ácidos orgânicos (como o cítrico e o málico). Esses compostos podem inibir a atividade microbiológica responsável pela produção de metano e, adicionalmente, reduzir o pH do sistema, comprometendo sua estabilidade e eficiência operacional.

Para facilitar o processamento e promover um ambiente adequado à digestão anaeróbica, os resíduos são diluídos na proporção de 1 litro de água para cada quilograma de resíduo (razão 1:1 m/m), formando uma polpa homogênea que favorece o bombeamento e a dispersão dos microrganismos no meio. Essa preparação é realizada previamente à alimentação do reator, que ocorre duas vezes ao dia de forma controlada, com o objetivo de manter o pH da mistura próximo à neutralidade, condição essencial para o equilíbrio microbiológico do sistema e para uma produção eficiente e contínua de biogás.

Procedimento de medições e tratamento dos dados obtidos

As análises do biogás foram realizadas em dois locais distintos, diferenciados quanto ao ponto de coleta. No Local 1 (SEBRAE-RN), as medições ocorreram na saída direta do biodigestor, de forma a caracterizar o biogás em sua forma bruta, antes de qualquer passagem pelo sistema de distribuição. Já no Local 2 (Senac Barreira Roxa), a coleta foi feita na saída de gás que alimenta o fogão, também antes de qualquer etapa de purificação, permitindo avaliar a composição do biogás no ponto de consumo. Em ambos os locais foi utilizado o analisador portátil BIOGAS5000, equipamento capaz de determinar, com precisão e confiabilidade, as concentrações dos principais constituintes do biogás, incluindo metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), oxigênio (O_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e hidrogênio (H_2). O procedimento de coleta seguiu um protocolo padronizado: inicialmente, o equipamento foi conectado ao sistema por meio de uma mangueira vedada, garantindo a integridade da amostra, enquanto uma segunda mangueira foi utilizada para a purga da linha, descartando-se os três primeiros volumes de gás a fim de eliminar o ar residual. Em seguida, foram realizadas três leituras consecutivas em cada ponto, em triplicata, com intervalos de aproximadamente 2 minutos entre as medições, sempre sob condições operacionais constantes.

Tratamento e Análise dos dados

As leituras realizadas nos biodigestores fornecem a composição dos gases principais, como o metano (CH_4), bem como a presença de substâncias indesejadas, como o dióxido de carbono (CO_2) e o sulfeto de hidrogênio (H_2S). Esses valores permitem não apenas caracterizar o biogás produzido, mas também compará-lo com dados reportados na literatura, avaliando a proximidade em relação aos padrões médios obtidos para resíduos semelhantes e diferentes configurações de biodigestores. Essa comparação possibilita identificar variações na concentração dos componentes em função de fatores como matéria-prima utilizada, tempo de retenção e condições operacionais do sistema. A partir dessas análises, são selecionadas propostas de purificação do biogás, com destaque para métodos de dessulfuração voltados à remoção de H_2S , além de técnicas

destinadas à redução de umidade e CO₂, de modo a aprimorar a qualidade do combustível e ampliar seu potencial de aplicação energética.

Resultados e Discussões

Com o objetivo de facilitar a compreensão e permitir a distinção entre os resultados obtidos, estabeleceu-se a seguinte denominação: o SEBRAE RN será referido como “local 1”, enquanto o Senac Barreira Roxa será identificado como “local 2”. Em ambos os sistemas, os resíduos alimentares orgânicos são submetidos ao processo de digestão anaeróbia, que promove a degradação da matéria orgânica e gera o biogás, cuja fração majoritária corresponde ao metano, principal componente energético.

Na Tabela 1, apresentam-se diferentes tipos de substratos e suas respectivas expectativas de potencial de produção de metano, possibilitando a comparação entre os valores obtidos e aqueles reportados na literatura.

Apresentação dos resultados experimentais - SEBRAE RN (Local 1)

As medições no biodigestor do local 1 foram realizadas com o equipamento BIOGAS5000, que possui duas conexões principais: uma destinada à purga, e outra à análise do biogás. A purga é um procedimento essencial, pois permite descartar os primeiros volumes de gás da linha, eliminando resíduos de medições anteriores e evitando interferências por ar atmosférico residual. A mangueira de análise, equipada com filtro, foi conectada diretamente ao biodigestor, mantendo o sistema vedado para minimizar perdas de gás e interferência de umidade. Após a estabilização, o equipamento realizou a leitura automática dos parâmetros, e os resultados foram registrados.

Como representado na Tabela 2, cada análise foi conduzida em triplicata, com o objetivo de aumentar a confiabilidade e a precisão dos dados. Ainda assim, pequenas variações podem ocorrer, sendo consideradas normais em experimentos de campo.

Os resultados mostraram que o biogás produzido no local 1 apresentou um perfil típico, com valores próximos ao esperado pela literatura para substratos alimentares: cerca de 49–50% de CH₄ e ≈48% de CO₂. O teor de H₂S (≈200 ppm) está dentro da faixa relatada na bibliografia e em nível considerado moderado, não representando risco imediato, mas exigindo purificação em aplicações de maior exigência técnica.

O parâmetro que mais divergiu dos valores de referência foi o O₂, que apresentou concentrações entre 5–8%, quando o recomendado é <2%. Essa diferença sugere possível entrada de ar atmosférico durante a coleta ou pequenas infiltrações na linha de gás, o que pode reduzir a qualidade do biogás e comprometer a eficiência da combustão. No entanto, é importante ressaltar que tais valores não indicam uma entrada efetiva de oxigênio no interior do biodigestor, pois isso prejudicaria a digestão anaeróbica e reduziria a produção de metano, o que não foi observado. Portanto, a hipótese mais

provável é que os teores de O_2 tenham sido superestimados em função de pequenas infiltrações na linha de coleta ou mistura residual durante a purga, não comprometendo de forma significativa o desempenho real do processo.

Apresentação dos resultados experimentais - SENAC BARREIRA ROXA RN (Local 2)

No Local 2, as análises do biogás foram realizadas utilizando o equipamento BIOGAS5000, com o mesmo procedimento aplicado no Local 1. Diferentemente do SEBRAE-RN, a coleta foi feita na saída da mangueira que alimenta o fogão da cozinha, possibilitando avaliar o biogás no ponto de uso final. Para assegurar a confiabilidade dos resultados, cada medição foi conduzida em triplicata, com intervalos de alguns minutos entre as leituras.

Conforme apresentado na Tabela 3, o biogás do Local 2 apresentou concentrações médias de CH_4 entre 54–55% e CO_2 em torno de 50%, valores que se encontram dentro da faixa descrita pela literatura para biogás proveniente de resíduos alimentares (50–70% de CH_4 e 30–50% de CO_2). O teor de oxigênio (0,7–1,3%) manteve-se abaixo do limite máximo recomendado (<2%), indicando boas condições de vedação e maior confiabilidade das leituras.

Em contrapartida, os níveis de H_2S foram elevados (705–828 ppm), o que caracteriza risco de corrosão e limita o uso direto do biogás sem tratamento prévio. A literatura aponta que concentrações acima de 500 ppm exigem processos de purificação, como a utilização de carvão ativado, óxidos de ferro ou técnicas de lavagem química, de modo a garantir maior segurança e eficiência no aproveitamento energético do biogás.

É importante destacar que, em algumas análises, a soma dos teores de CH_4 e CO_2 ultrapassou 100%. Esse desvio não indica erro no processo de biodigestão, mas está relacionado a artefatos de medição comuns em equipamentos portáteis, devido a fatores como leituras em base úmida, ausência de normalização automática dos valores e pequenos desvios de calibração dos sensores. Assim, trata-se de uma limitação técnica da medição em campo, não comprometendo a interpretação global dos resultados obtidos.

Discussão sobre purificação/dessulfuração

As análises realizadas nos dois locais de estudo mostraram diferenças significativas nas concentrações de sulfeto de hidrogênio (H_2S), variando de níveis moderados (≈ 200 ppm no Local 1) até elevados (≈ 700 –828 ppm no Local 2). A composição de biogás observada em ambos foi semelhante, com 49–55% de metano (CH_4) e 48–50% de dióxido de carbono (CO_2). Esses resultados evidenciam que, embora o biogás seja adequado para uso energético, a presença de contaminantes compromete sua qualidade e durabilidade em equipamentos. O H_2S , em particular, é tóxico e altamente corrosivo, enquanto o CO_2 , apesar de não tóxico, reduz o poder calorífico do biogás e, em contextos industriais, também representa um contaminante ambiental relevante (FREDDO, 2017; SILVA, 2022).

A literatura apresenta uma ampla gama de técnicas de purificação do biogás, desde métodos biológicos até físico-químicos. Os biofiltros com microalgas, por exemplo, têm mostrado resultados promissores, com remoções de até 83,4% de H_2S e cerca de 30% de CO_2 em condições laboratoriais (MÖRS et al., 2024). Embora sustentáveis, essas técnicas demandam infraestrutura complexa (fotobiorreatores, controle de nutrientes e iluminação), o que as torna pouco viáveis em sistemas domésticos como os analisados. De modo semelhante, a absorção química com soluções alcalinas (NaOH , KOH , Ca(OH)_2) e aminas, como estudado por Silva (2022), também demonstra alta eficiência na remoção de CO_2 e H_2S , porém envolve o uso de solventes caros, necessidade de regeneração química e geração de efluentes líquidos, o que restringe sua aplicação a plantas industriais de maior porte. Tecnologias mais sofisticadas, como membranas e PSA (Pressure Swing Adsorption), oferecem desempenho elevado na separação de CO_2 e H_2S , mas apresentam custos de implantação e manutenção incompatíveis com biodigestores de pequena escala (FREDDO, 2017).

Nesse cenário, a escolha das técnicas deve priorizar a simplicidade, o custo e a eficiência frente às concentrações encontradas nos locais estudados. No Local 1, onde o H_2S apresenta níveis moderados (~ 200 ppm), a palha de aço oxidada se mostra a alternativa mais adequada. Seu funcionamento baseia-se na reação do ferro metálico com o H_2S , formando sulfeto de ferro (FeS) e retraindo o contaminante. A aplicação é simples, podendo-se instalar o material em colunas ou filtros conectados à linha de saída do biogás. As principais vantagens são o baixo custo, a ampla disponibilidade e a facilidade de reposição. Apesar de não remover CO_2 e de possuir capacidade limitada em concentrações elevadas, no contexto do Local 1 essas limitações não comprometem o desempenho, configurando a palha de aço como a solução de melhor custo-benefício (FREDDO, 2017).

Já no Local 2, onde o H_2S atinge valores mais altos (≈ 800 ppm), a palha de aço apresentaria saturação rápida, exigindo trocas frequentes e reduzindo sua eficiência operacional. Nesse caso, o método mais indicado é o uso de carvão ativado impregnado com óxidos de ferro, tecnologia experimentalmente validada por Freddo (2017). O carvão ativado possui elevada área superficial que permite a adsorção de gases, enquanto os óxidos de ferro reagem quimicamente com o H_2S , formando compostos estáveis como Fe_2S_3 . Isso garante alta eficiência de remoção e maior durabilidade, com substituições que podem ocorrer após meses de operação. Embora apresente custo inicial maior do que a palha de aço, a longevidade do material, a eficiência em altas concentrações e a facilidade de integração ao sistema tornam essa técnica a mais adequada para o Local 2.

Conclusão

O presente trabalho permitiu avaliar o biogás produzido a partir da digestão anaeróbica de resíduos alimentares orgânicos, considerando a influência do tipo de biodigestor, da composição do substrato e das condições operacionais sobre a qualidade final do gás obtido. As análises demonstraram que, embora os teores de metano (CH_4) tenham se mantido dentro da faixa esperada pela literatura, a presença significativa de

contaminantes, em especial o dióxido de carbono (CO_2) e o sulfeto de hidrogênio (H_2S), evidencia a necessidade de processos de purificação para viabilizar o uso seguro e eficiente desse combustível.

Os resultados mostraram diferenças marcantes entre os dois locais avaliados. Enquanto em um deles o teor de H_2S manteve-se em níveis moderados (≈ 200 ppm), no outro foram observadas concentrações elevadas, superiores a 700 ppm, configurando risco de corrosão e exigindo medidas corretivas mais robustas. Essas variações refletem a influência de fatores operacionais e de manuseio do substrato sobre a composição do biogás, confirmando a importância de monitorar continuamente o processo de digestão anaeróbica.

No que se refere às técnicas de purificação, a análise comparativa evidenciou que a escolha do método deve estar alinhada às características específicas do biogás gerado em cada sistema. A utilização de palha de aço mostrou-se adequada em cenários de concentrações moderadas de H_2S , devido ao seu baixo custo e simplicidade operacional. Já em contextos de concentrações mais elevadas, técnicas mais avançadas, como o uso de carvão ativado impregnado com óxidos de ferro, se destacaram pela maior eficiência e durabilidade, ainda que a um custo inicial mais elevado. Essa diferenciação evidencia a relevância de adaptar as soluções tecnológicas ao perfil do biogás produzido, buscando sempre o melhor equilíbrio entre eficiência, viabilidade econômica e aplicabilidade prática.

Dessa forma, o estudo alcançou seu objetivo ao avaliar o biogás gerado pela digestão anaeróbica de resíduos alimentares e propor alternativas de purificação direcionadas às condições observadas. Os resultados reforçam o potencial do biogás como fonte renovável de energia, desde que associado a estratégias de tratamento adequadas para reduzir os contaminantes que comprometem sua qualidade. Ademais, ressalta-se a importância de estudos adicionais voltados à otimização dos processos de dessulfuração e remoção de CO_2 , bem como a necessidade de adaptação das tecnologias de purificação ao contexto local, de modo a consolidar o biogás como alternativa energética eficiente e sustentável.

Referências

EXAME. Aquecimento global: Combustíveis fósseis são os principais vilões. Exame.com. Disponível em: <https://exame.com/ciencia/combustiveis-fosseis-viloe-aquecimento-global/>. Acesso em: 05 ago. 2025.

MACHADO, Gleason B. O que é Biogás. Portal do Biogás. Disponível em: <https://portaldobiogas.com/o-que-e-biogas/>. Acesso em: 05 ago. 2025.

MACHADO, Cláudio da Cunha. "Remoção de sulfeto de hidrogênio do biogás utilizando palha de aço." (2021).

SILVA, Ian Macedo. Análise computacional da absorção química simultânea de Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e Dióxido de Carbono (CO₂) em solução aquosa de Hidróxido de Sódio (NaOH). 2022.

FREDDO, Alessandra et al. Estudo da remoção de dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio de biogás utilizando soluções absorvedoras. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CASTRO, Aline Antonia. Produção e purificação de biogás utilizando biotecnologia de microalgas como alternativa energética renovável. 2022.

CRISTIANO, Djema Maria et al. Remoção de H₂S com óxido de ferro nanoestruturado para fins de purificação de biogás. 2015.

SILVA, Cláudio Alexandre Batista Veloso e. Limpeza e Purificação de Biogás. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharias, Vila Real, 2009. Disponível em: <https://repositorio.utad.pt/server/api/core/bitstreams/89c73ec9-fe93-4267-9264-7f05695b3b9d/content>. Acesso em: 25 ago. 2025.

MÖRS, J.; COLARES, G. S.; JUNQUEIRA, L. T.; OLIVEIRA, G. M. de; DULLIUS, A.; BUFFON, G.; KONRAD, O. Photosynthetic process for removing H₂S and CO₂ from biogas using the microalgae *Chlorella sorokiniana*. Caderno Pedagógico, [S. l.], v. 21, n. 4, p. e3723, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n4-078. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/3723>. Acesso em: 27 ago. 2025.

CLEAN. Biogas 5000: analisador portátil de gases. Clean. Disponível em: <https://www.clean.com.br/Produto/Detalhe/177>. Acesso em: 27 ago. 2025.

HOME BIOGAS BRASIL. Manual do Proprietário – HomeBiogás 7.0: sistema doméstico de biogás HBG 7.0. Versão Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.homebiogas.com.br/product-page/homebiogas-7-0-biodigestor-autonomo>. Acesso em: 27 ago. 2025.

Anexos



Tabelas 1



Tabelas 2



Tabelas 3.

CÓDIGO: ET1700

AUTOR: ANTONY BERTLAND ANDRADE BEZERRA

COAUTOR: YANKO MARCIUS DE ALENCAR XAVIER

ORIENTADOR: HERBERT RICARDO GARCIA VIANA

TÍTULO: MINÉRIOS CRÍTICOS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL: OPORTUNIDADES ESTRATÉGICAS E PANORAMA DA PESQUISA E LAVRA.

Resumo

A transição energética global, voltada a mitigar as mudanças climáticas e reduzir a dependência de combustíveis fósseis, intensificou a demanda por minerais estratégicos como lítio, terras raras, cobalto, cobre e níquel. Esses insumos são essenciais para tecnologias de baixo carbono, como baterias, turbinas eólicas, painéis solares e veículos elétricos. Com base em dados da ANM, USGS e IEA, o estudo mostra que, embora o Brasil possua grandes reservas — 730 mil toneladas de lítio, a terceira maior de terras raras e 16 milhões de toneladas de níquel — a exploração ainda é limitada: apenas 0,49% dos processos têm concessão de lavra, enquanto 88,55% estão em fases iniciais. As concentrações principais estão em Minas Gerais, Bahia e Goiás, mas entraves regulatórios, lacunas tecnológicas e ausência de políticas específicas dificultam o avanço. Diante da previsão de forte aumento da demanda mundial, até 15 vezes no caso do lítio até 2050, o Brasil precisa investir em pesquisa, inovação, infraestrutura e regulação eficiente para transformar seu potencial geológico em liderança estratégica.

Palavras-chave: Minérios críticos; Transição energética; Regulação mineral

TITLE: CRITICAL MINERALS FOR THE ENERGY TRANSITION IN BRAZIL: STRATEGIC OPPORTUNITIES AND OVERVIEW OF RESEARCH AND MINING.

Abstract

The global energy transition, aimed at mitigating climate change and reducing fossil fuel dependence, has intensified demand for strategic minerals such as lithium, rare earths, cobalt, copper, and nickel. These are vital for low-carbon technologies like batteries, wind turbines, solar panels, and electric vehicles. Based on data from ANM, USGS, and IEA, this study shows that although Brazil holds significant reserves — 730,000 tons of lithium, the world's third-largest rare earth reserve, and 16 million tons

of nickel — exploitation remains limited: only 0.49% of processes have mining concessions, while 88.55% are still in early stages. Concentrations occur in Minas Gerais, Bahia, and Goiás, but regulatory delays, technological gaps, and lack of policies hinder progress. With global demand set to rise sharply, up to 15 times for lithium by 2050, Brazil must invest in research, innovation, infrastructure, and regulation to turn geological potential into strategic leadership.

Keywords: Critical minerals; Energy transition; Mineral regulation

Introdução

Em 2021, mais de 4,2 milhões de pessoas morreram em decorrência da poluição atmosférica, impulsionada pelo uso intensivo de combustíveis fósseis e práticas insustentáveis. Esse cenário evidencia os limites de um modelo energético poluente e reforça a necessidade da transição para matrizes renováveis. O Acordo de Paris (2015) estabeleceu metas para conter o aquecimento global abaixo de 2 °C, implicando a substituição progressiva de fontes fósseis por energias limpas, eficiência energética e inovação tecnológica. A transição energética, entendida como a mudança estrutural dos sistemas de produção e consumo de energia para fontes renováveis e de baixo impacto ambiental, demanda minerais estratégicos como lítio, terras raras, cobalto, cobre e níquel — insumos fundamentais para baterias, turbinas eólicas, células fotovoltaicas e veículos elétricos.

A crescente procura global por esses recursos está redefinindo a geopolítica, com países emergindo como fornecedores centrais. O Brasil, com vasta diversidade geológica, ocupa posição estratégica, mas enfrenta entraves regulatórios, ambientais e tecnológicos. A Constituição de 1988 estabelece que as jazidas pertencem à União e devem ser exploradas em equilíbrio com a proteção ambiental. A Lei nº 14.066/2020 reforçou critérios de licenciamento e responsabilidade social, alinhando a mineração a práticas internacionais mais sustentáveis.

Apesar disso, a exploração de minérios críticos no Brasil ainda é incipiente, marcada por projetos em estágios iniciais e ausência de políticas públicas específicas. Mapear a lavra desses minerais é crucial para fortalecer a soberania energética e aproveitar o potencial brasileiro na transição global.

O estudo busca analisar o perfil de lavra do lítio, terras raras, cobre, cobalto e níquel com base em dados da Agência Nacional de Mineração (ANM). O objetivo é identificar gargalos e oportunidades, avaliando regimes minerários e sua aplicação à exploração desses recursos. Entre os pontos-chave estão: (i) a predominância de processos em fase de pesquisa; (ii) a morosidade regulatória; e (iii) lacunas tecnológicas no beneficiamento.

Para compreender o panorama, o trabalho aborda os regimes minerários da ANM: concessão (exige portaria do Ministro de Minas e Energia), autorização de pesquisa (alvará da ANM), licenciamento (licença administrativa local), permissão de lavra garimpeira (extração em pequena escala), registro de extração (uso exclusivo em obras públicas) e disponibilidade de áreas (leilão eletrônico de áreas vagas). Esses regimes

determinam as fases de desenvolvimento dos empreendimentos e são fundamentais para classificar o estágio da mineração no Brasil.

Complementarmente, o estudo utiliza o Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE), ferramenta que disponibiliza dados georreferenciados sobre títulos minerários no país. Por meio de mapas interativos, é possível acessar informações sobre processos ativos, regimes aplicáveis e substâncias em exploração, permitindo identificar status e empresas responsáveis. Esse sistema é crucial para mapear áreas estratégicas e avaliar o avanço dos minérios críticos no território nacional.

Assim, ao integrar dados legais e geográficos, o trabalho busca oferecer um diagnóstico sobre a posição brasileira na exploração de minérios essenciais à transição energética, apontando desafios e caminhos para que o país fortaleça sua soberania mineral de forma sustentável e competitiva.

Metodologia

Conforme as diretrizes apresentadas por Gil (2021), este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, com abordagem exploratória e descritiva, fundamentada em dados secundários provenientes de fontes oficiais. Trata-se de uma pesquisa documental e bibliográfica, tendo como objetivo aprofundar o conhecimento sobre a ocorrência de minérios críticos para a transição energética no mundo e no Brasil, bem como compreender os regimes estabelecidos pela Agência Nacional de Mineração (ANM) para fins de classificação da maturidade dos empreendimentos minerais, com foco específico na distribuição geográfica e estratégica desses recursos.

A natureza qualitativa da pesquisa se justifica pelo interesse em interpretar e compreender fenômenos complexos associados à geopolítica mineral, aos marcos regulatórios e às estratégias de exploração dos minérios críticos, considerando seus desdobramentos econômicos, ambientais e jurídicos. A abordagem exploratória é adequada, uma vez que o tema ainda é recente e carece de sistematização no contexto jurídico e regulatório nacional.

O procedimento metodológico adotado combina pesquisa documental e bibliográfica. A pesquisa é documental na medida em que utiliza como fontes leis, decretos, regulamentos, relatórios técnicos e institucionais, dados oficiais produzidos por organismos nacionais e internacionais (como ANM, IEA, USGS e IBRAM), além de documentos públicos sobre política mineral e energética. Já a dimensão bibliográfica se apoia em referenciais teóricos extraídos da literatura acadêmica relevante, incluindo livros, artigos científicos e estudos especializados sobre mineração, transição energética e regulação econômica.

Esse delineamento metodológico permite que o estudo examine criticamente os marcos normativos e as bases técnicas que orientam a exploração dos minérios críticos,

oferecendo subsídios para reflexões futuras sobre regulação e soberania no contexto da transição energética.

Para alcançar o objetivo do trabalho, a coleta de dados foi realizada por meio das plataformas disponibilizadas pela Agência Nacional de Mineração (ANM), especificamente o Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE) e o Painel de Distribuição da Mineração no Brasil. A escolha dessas ferramentas justifica-se pela confiabilidade institucional, pela abrangência dos dados minerários disponíveis e pela possibilidade de aplicação de filtros específicos, que permitiram extrair informações direcionadas aos minérios considerados críticos no contexto da transição energética, como lítio, terras raras, cobalto, cobre e níquel.

Nas referidas plataformas, foram aplicados filtros por substância mineral, tipo de regime minerário e fase do processo, possibilitando identificar o número de requerimentos, autorizações e concessões de lavra ativos para cada minério, além de sua distribuição geográfica por unidade federativa. Essas informações foram essenciais para mapear o estágio de desenvolvimento da exploração de cada substância no Brasil e para apontar tendências relevantes no setor.

Adicionalmente, o estudo foi complementado com dados quantitativos sobre reservas e produção mundial, extraídos de relatórios técnicos publicados por instituições internacionais, como o United States Geological Survey (USGS) e a International Energy Agency (IEA), bem como de documentos do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). Essa triangulação de fontes permitiu estabelecer comparações entre o cenário nacional e o contexto global, oferecendo maior robustez às análises realizadas.

A metodologia adotada, ao articular o uso de bases públicas oficiais com filtros analíticos específicos, possibilitou a construção de um diagnóstico detalhado da posição brasileira no cenário dos minérios críticos.

Resultados e Discussões

A discussão sobre minérios críticos no contexto da transição energética envolve uma análise ampla de sua importância tecnológica, da evolução da demanda mundial e das condições de exploração e lavra no Brasil. Esses insumos são centrais para viabilizar tecnologias de baixo carbono, como baterias de íons de lítio, turbinas eólicas, painéis fotovoltaicos, veículos elétricos e sistemas de armazenamento em larga escala. A Agência Internacional de Energia (IEA) e o U.S. Geological Survey (USGS) identificam esses minerais como componentes-chave para que países alcancem suas metas de descarbonização. No caso brasileiro, a Agência Nacional de Mineração (ANM) desempenha papel fundamental ao organizar e disponibilizar dados referentes a processos minerários, estágios de pesquisa e concessão de lavra, revelando tanto o potencial do país como os desafios estruturais para transformar reservas em produção efetiva.

Entre os recursos minerais considerados críticos, destacam-se o lítio, os elementos de terras raras, o cobalto, o cobre e o níquel. Cada um desses insumos apresenta

características específicas de aplicação, concentração geográfica das reservas e desafios tecnológicos, econômicos e regulatórios. A relevância desses minérios decorre não apenas de seu uso direto em equipamentos de energia limpa, mas também de sua posição estratégica em cadeias produtivas globais altamente competitivas e sujeitas a riscos geopolíticos. A Resolução nº 2/2021 do Comitê Interministerial de Análise de Projetos de Minerais Estratégicos, publicada em junho de 2021, consolidou a lista oficial de minerais estratégicos para o Brasil, categorizando-os em função de sua dependência externa, da aplicação em alta tecnologia e do impacto econômico para o país. Os cinco minérios aqui analisados estão diretamente relacionados à segunda categoria, de aplicação tecnológica avançada, com destaque para o cobre, que também integra a terceira, por sua relevância econômica e comercial.

Tabela 1 – Necessidade de minérios críticos para Tecnologias de Energia Limpa (IEA, 2022).

O lítio figura como insumo central para a produção de baterias de íons de lítio, que dominam tanto o mercado de veículos elétricos quanto o de sistemas de armazenamento estacionário de energia. Em 2023, a USGS estimou que 80% do lítio mundial foi destinado a baterias, 7% a cerâmicas e vidros, 4% a graxas lubrificantes, 2% a fluxos de fundição contínua, 1% a tratamento de ar, 1% a aplicações médicas e 5% a usos diversos. Essa concentração em um único setor indica a vulnerabilidade das cadeias produtivas, mas também reforça o caráter indispensável do elemento. Entre 2021 e 2022, a produção global registrou aumentos expressivos, especialmente no Chile (37,8%) e na China (35,7%). Em contraste, Portugal experimentou uma queda de 33,3% em sua produção, resultado da resistência local à instalação da maior mina de lítio da Europa Ocidental, projeto da Savannah Resources em Covas do Barroso. As projeções de demanda são ainda mais expressivas: estima-se que o consumo global poderá multiplicar-se por até 40 até 2040, impulsionado pela expansão da frota elétrica e pelo uso de baterias em redes inteligentes. Geograficamente, as maiores reservas concentram-se no chamado Triângulo do Lítio (Chile, Argentina e Bolívia), embora a Austrália lidere a produção recente. Em 2023, a USGS estimou reservas globais de aproximadamente 98 milhões de toneladas, sendo que o Brasil já acumula 730 mil toneladas. Esse crescimento brasileiro resulta da intensificação de atividades exploratórias, especialmente nas províncias pegmatíticas Oriental (Minas Gerais e Bahia) e da Borborema (Nordeste), onde a ANM contabilizava 4.206 processos ativos em 2025, dos quais 583 eram requerimentos de pesquisa e 3.546 autorizações. Apesar do grande volume de processos, apenas duas minas tinham concessão de lavra, destacando-se Grota do Cirilo – Xuxa, em Itinga (MG), operada pela Sigma Lithium, que projeta crescimento de 12,5% em 2025.

Figura 1 – Processos envolvendo Lítio e Minério de Lítio na ANM em julho de 2025.
Fonte: Painel da Distribuição da Mineração no Brasil, ANM, 2025.

Os elementos de terras raras (ETRs), conjunto de 17 elementos químicos formado pelos lantanídeos mais o ítrio e o escândio, são igualmente indispensáveis à transição energética. Sua presença é essencial em turbinas eólicas, motores de veículos elétricos, sistemas de defesa e equipamentos eletrônicos de ponta. Embora relativamente abundantes na crosta terrestre, os ETRs são economicamente complexos, uma vez que ocorrem de forma dispersa e exigem processos sofisticados de separação. A

concentração geopolítica é marcante: a China detém 40% das reservas globais, enquanto Brasil e Vietnã juntos somam 39%, o que significa que apenas três países concentram 79% das reservas mundiais. Em 2023, a produção global de óxidos de terras raras alcançou 353 mil toneladas, aumento de 19,2% em relação ao ano anterior, consolidando a liderança chinesa. No Brasil, apesar da terceira maior reserva mundial, a produção ainda é incipiente. Historicamente, o país foi protagonista na exploração de areias monazíticas no litoral do Rio de Janeiro e da Bahia, mas perdeu espaço após a Segunda Guerra Mundial, em parte devido à ausência de políticas estruturadas e à radioatividade natural da monazita. Atualmente, as reservas brasileiras concentram-se em minérios convencionais e em depósitos raros de argilas de adsorção iônica em Minaçu (GO), que oferecem vantagens operacionais como baixa radioatividade e extração simplificada. Em 2025, a ANM contabilizava 2.320 processos ativos, mas apenas sete concessões de lavra, todas sob responsabilidade da Serra Verde Pesquisa e Mineração Ltda. A planta de Minaçu, inaugurada em 2024, deve posicionar o Brasil entre os seis maiores produtores, com expectativa de atingir 5 mil toneladas anuais de óxidos de terras raras.

Figura 2 – Processos envolvendo ETRs na ANM em julho de 2025.
Fonte: Painel da Distribuição da Mineração no Brasil, ANM, 2025.

Outro insumo de relevância estratégica é o cobalto. Este metal, associado principalmente a depósitos de cobre e níquel, tem sido tradicionalmente empregado em superligas, catalisadores e ímãs permanentes, mas sua demanda recente decorre da produção de baterias de íons de lítio. A República Democrática do Congo (RDC) concentra cerca de 50% das reservas mundiais (6 milhões de toneladas), o que cria dependência global e exposição a riscos políticos e sociais. Em 2023, a produção global cresceu 17,2%, com a RDC responsável por quase 75% e a Indonésia por 7,5%. A China mantém liderança no refino e no consumo, destinando 87% de sua demanda à produção de baterias. Contudo, observa-se tendência de substituição tecnológica: as baterias de fosfato de ferro e lítio (LFP), livres de cobalto, já representavam 82,2% das instalações na China em 2025, demonstrando um esforço para reduzir custos e riscos geopolíticos. No Brasil, a produção de cobalto cessou em 2017, após o fechamento da unidade da Votorantim Metais em Niquelândia (GO). Até 2015, o país chegou a produzir 2.771 toneladas, mas em 2017 a produção já havia caído para 185 toneladas, até ser interrompida. Em 2025, restavam apenas 34 processos ativos na ANM, quase todos em fase inicial, concentrados em Goiás, Pará e Minas Gerais.

O cobre é considerado o “metal da eletrificação”, dado seu papel na condução elétrica e térmica, na maleabilidade e na resistência à corrosão. É utilizado em cabos, turbinas, painéis solares e veículos elétricos. As reservas globais alcançam 1 bilhão de toneladas, com destaque para Chile e Peru (31%), Austrália (10%) e RDC e Rússia (8% cada). Em 2023, o Chile manteve a liderança com 5 milhões de toneladas, seguido do Peru (2,6 milhões) e da RDC (2,5 milhões). A China, apesar de produzir apenas 1,7 milhão de toneladas de cobre extraído, refinou 12 milhões em 2023, evidenciando sua dependência de concentrados importados. No Brasil, as reservas somam 17 milhões de toneladas e a produção média entre 2016 e 2019 foi de 355 mil toneladas anuais. Em 2025, havia 37 concessões de lavra em operação, com destaque para Salobo e Sossego (Vale S.A., Carajás/PA). Outras empresas estrangeiras, como Lundin Mining (GO) e Ero Copper (PA), também atuam de forma relevante. Além disso, a ANM registrava em 2025 cerca

de 1.676 requerimentos e 5.863 autorizações de pesquisa, o que sugere forte expansão futura.

Figura 3 – Processos envolvendo Cobre e Minério de Cobre na ANM em julho de 2025.
Fonte: Painel da Distribuição da Mineração no Brasil, ANM, 2025.

O níquel, por sua vez, é indispensável tanto à produção de ligas metálicas e aços inoxidáveis quanto, mais recentemente, às baterias de íons de lítio do tipo NMC (níquel-manganês-cobalto). Seu uso aumenta a densidade energética e a autonomia dos veículos elétricos. As reservas globais estão fortemente concentradas na Indonésia (55 milhões de toneladas, 50,5%), seguida da Austrália (24 milhões) e do Brasil (16 milhões). Em 2023, a produção mundial cresceu em países como Indonésia (+13,9%), Filipinas (+15,9%) e Nova Caledônia (+15%). O Brasil, apesar de deter a terceira maior reserva mundial, produziu apenas 89 mil toneladas, crescimento modesto de 0,6% em relação a 2022. A produção nacional é liderada pela Vale (Onça Puma/PA) e pela Anglo American (Barro Alto/GO). Em 2025, a ANM contabilizava 36 concessões de lavra, 187 requerimentos e 970 autorizações de pesquisa, evidenciando a atratividade crescente do setor.

Figura 4 – Processos envolvendo Níquel na ANM em julho de 2025.
Fonte: Painel da Distribuição da Mineração no Brasil, ANM, 2025.

O panorama geral dos minérios críticos no Brasil pode ser visualizado a partir das estatísticas de processos minerários. Entre 2010 e 2015, a média anual foi de 403 processos, enquanto entre 2020 e 2025 esse número saltou para 1.706, com pico de 4.341 em 2023. Esse crescimento evidencia não apenas a intensificação das pesquisas, mas também o interesse do setor em alinhar-se às tendências globais.

Figura 5 – Processos minerários por ano de minérios críticos em julho de 2025.
Fonte: Painel da Distribuição da Mineração no Brasil, ANM, 2025.

As projeções são contundentes: a IEA estima que a demanda global por minerais críticos ligados à energia limpa passará de US\$ 230 bilhões em 2023 para US\$ 1 trilhão até 2030. No Brasil, estima-se que tecnologias como baterias, turbinas e painéis solares demandem até seis vezes mais minerais nas próximas décadas, enquanto a procura por lítio poderá aumentar até 15 vezes até 2050. A análise comparativa de 2025 mostra que o cobre lidera os processos minerários no país (53,2%), seguido do lítio (24,7%) e das terras raras (13,6%).

Figura 6 – Processos minerários por minério crítico em julho de 2025.
Fonte: Painel da Distribuição da Mineração no Brasil, ANM, 2025.

Entretanto, a maior parte dos processos ainda está em fases iniciais. Em 2025, 71,89% eram autorizações de pesquisa e 16,66% requerimentos, totalizando 88,55% do universo. Apenas 0,49% correspondiam a concessões de lavra. Essa discrepância demonstra que o Brasil dispõe de vasto potencial geológico, mas ainda enfrenta dificuldades em converter pesquisas em exploração produtiva. A demora média de sete anos entre o requerimento de lavra e a portaria de concessão ilustra a lentidão regulatória. Além disso, a prospecção mineral é de alto risco: apenas 4% dos alvarás

resultam em jazidas economicamente viáveis. Esses obstáculos se somam às exigências socioambientais e à complexidade tecnológica, especialmente no beneficiamento de terras raras e na extração de cobalto.

Figura 7 – Processos minerários de minérios críticos por fase em julho de 2025.

Fonte: Painel da Distribuição da Mineração no Brasil, ANM, 2025.

Em síntese, o Brasil detém reservas expressivas de lítio, terras raras, cobre e níquel, além de já ter ocupado posição relevante na produção de cobalto. Todavia, a exploração efetiva ainda se mostra incipiente, refletida pela predominância de processos em fases iniciais. A transformação do potencial em produção competitiva requer investimentos em inovação, fortalecimento da regulação e políticas públicas específicas que conciliem sustentabilidade, segurança jurídica e agregação de valor. Caso esses gargalos sejam superados, o país tem condições de se consolidar como fornecedor estratégico de minerais críticos, contribuindo de maneira decisiva para a transição energética global.

Conclusão

O Brasil ocupa posição estratégica no cenário global de minérios críticos para a transição energética, destacando-se por suas reservas expressivas e diversidade geológica. Dados da Agência Nacional de Mineração (ANM), do USGS e da IEA indicam que o país detém aproximadamente 730 mil toneladas de lítio, a terceira maior reserva mundial de terras raras, 16 milhões de toneladas de níquel e cerca de 17 milhões de toneladas de cobre. Apesar desse potencial, observa-se um descompasso entre reservas e produção: em julho de 2025, 88,55% dos processos minerários estavam em fases iniciais de pesquisa e apenas 0,49% em concessão de lavra. Essa realidade reflete a morosidade regulatória, com tempo médio superior a sete anos para aprovação de lavras, somada às dificuldades do licenciamento ambiental e aos desafios tecnológicos do beneficiamento, especialmente no caso de terras raras e cobalto.

No plano internacional, a demanda por minerais críticos deve crescer de forma acentuada: estima-se aumento de até 15 vezes no consumo de lítio até 2050 e de até seis vezes na procura por cobre e níquel. Nesse contexto, o Brasil tem potencial não apenas para suprir parte relevante dessa demanda, mas também para consolidar protagonismo geopolítico, desde que avance em políticas de incentivo à exploração sustentável, à industrialização da cadeia e à agregação de valor nacional. A distribuição geográfica das reservas reforça polos estratégicos como Minas Gerais e Bahia (lítio), a Borborema (NE), Minaçu em Goiás (terras raras) e Carajás no Pará (cobre e níquel). Essas regiões exigem políticas públicas voltadas a infraestrutura, inovação e qualificação de mão de obra.

Para consolidar sua posição, o Brasil deve aprofundar estudos comparativos sobre modelos regulatórios, desenvolver análises de viabilidade da verticalização produtiva e

avancar na criação de métricas socioambientais. Também é crucial investir em tecnologias de beneficiamento e reciclagem, reduzir a dependência de importações e fortalecer modelos de governança que assegurem soberania mineral e segurança energética. Projeções de demanda e oferta até 2050 devem orientar tanto políticas públicas quanto estratégias empresariais em um cenário de transição acelerada.

Em síntese, o país reúne condições geológicas, econômicas e estratégicas para se tornar um dos principais fornecedores globais de minérios críticos, mas essa consolidação dependerá da superação de gargalos regulatórios, logísticos e tecnológicos. Políticas integradas de longo prazo, que conciliem sustentabilidade, competitividade e segurança jurídica, serão decisivas para transformar o potencial em liderança produtiva e estratégica, contribuindo para a transição energética mundial e para o fortalecimento da soberania mineral brasileira.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). ANM lança painel sobre distribuição da mineração no Brasil. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 14 mar. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/noticias/anm-lanca-painel-sobre-distribuicao-da-mineracao-no-brasil>.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Sistemas de Exploração Mineral. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/exploracao-mineral/sistemas-de-exploracao-mineral>.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE). 2025. Disponível em: <https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Distribuição da Mineração no Brasil. Brasília, 2025. Disponível em: <https://geo.anm.gov.br/portal/apps/dashboards/3a3d30677bb743e2901818e906257ce4>.

ABMP; CETEM. Minerais Críticos – os desafios da Pesquisa Mineral. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/VI-Seminario-Brasileiro-de-Terras-Raras/ApresentacaoVISBTR07nov2023.pdf>.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-Lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940 (Código de Minas). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 fev. 1967. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm.

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334/2010, para instituir o novo Marco Legal de Segurança de Barragens. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 set. 2020.

BRASIL MINERAL. Mineração Serra Verde inicia produção comercial em Minaçu. São Paulo, 11 jan. 2024. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/mineracao-serra-verde-inicia-producao-comercial-em-minacu>.

BRASIL MINERAL. Produção da Sigma Lithium deve superar expectativas em 2025. São Paulo, 8 jan. 2025. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/producao-da-sigma-lithium-deve-superar-expectativas-em-2025>.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. Abu Dhabi: IRENA, 2018.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Minerais estratégicos são destacados no contexto de um projeto nacional. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/08/minerais-estrategicos-sao-destacados-no-contexto-de-um-projeto-nacional>.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Causes and Effects of Climate Change. YouTube, ago. 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=G4H1N_yXBiA.

RAJI, M. What's so special about Ukraine's minerals? A geologist explains. The Conversation, 10 mar. 2025. Disponível em: <https://theconversation.com/whats-so-special-about-ukraines-minerals-a-geologist-explains-251551>.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). Informe de recursos minerais. Série Minerais Estratégicos, n. 10. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/25334>.

SINDIMINA. As dez maiores empresas de mineração no Brasil em 2024. 26 dez. 2024. Disponível em: <https://www.sindimina.com/post/as-10-maiores-empresas-de-minera%C3%A7%C3%A3o-no-brasil-em-2024>.

TRICKS, H. Clean power is shaking up the global geopolitics of energy. The Economist, 15 mar. 2018.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Mineral Commodity Summaries 2023. Reston, VA: USGS, 2023. Disponível em: <https://www.usgs.gov/publications/mineral-commodity-summaries-2023>.

VIANA, H. R. G. Direito mineral e transição energética: minérios críticos, regulação e soberania. 1. ed. Natal: Insigne Acadêmica, 2025.

VIANA, H. R. G.; GUIMARÃES, P. B. V.; XAVIER, Y. M. A. CFEM e sustentabilidade: uma análise à luz dos princípios intergeracionais. Aracê, v. 7, n. 6, p. 35038–35058, 2025.

VIANA, H. R. G.; XAVIER, Y. M. A. A evolução constitucional do direito de propriedade sobre os recursos minerais no Brasil. Contribuciones a las Ciencias Sociales, v. 17, n. 1, p. 790–813, 2024.

VIANA, H. R. G.; XAVIER, Y. M. A. O estado do conhecimento da regulação dos minérios críticos para transição energética no Brasil. Cadernos de Dereito Actual, n. 25, p. 33–47, 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Air Pollution. 29 jun. 2021. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1.

Anexos



Tabela 1 – Necessidade de minérios críticos para Tecnologias de Energia Limpa (IEA, 2022).



Figura 1 – Processos envolvendo Lítio e Minério de Lítio na ANM em julho de 2025.



Figura 2 – Processos envolvendo ETRs na ANM em julho de 2025.



Figura 3 – Processos envolvendo Cobre e Minério de Cobre na ANM em julho de 2025.



Figura 4 – Processos envolvendo Níquel na ANM em julho de 2025.



Figura 5 – Processos minerários por ano de minérios críticos em julho de 2025.



Figura 6 – Processos minerários por minério crítico em julho de 2025.



Figura 7 – Processos minerários de minérios críticos por fase em julho de 2025.

CÓDIGO: ET1712

AUTOR: GUSTAVO PEREIRA DE CARVALHO

ORIENTADOR: SAMUEL XAVIER DE SOUZA

TÍTULO: Atualização do Módulo de Tolerância a Falhas para o Processador de Múltiplos Núcleos para a nova versão do submódulo Ibex.

Resumo

Aumentar a estabilidade e a tolerância a falhas de sistemas de transmissão e coleta de dados é uma necessidade que cresce paralelamente ao avanço da engenharia aeroespacial e ao aumento do uso de satélites. O presente trabalho descreve o desenvolvimento e a prototipagem de um módulo de tolerância a falhas, utilizando a plataforma PULP e explorando técnicas de redundância no nível dos núcleos de processamento, bem como a atualização desse módulo para uma nova versão de um dos submódulos utilizados, o Ibex, a fim de acompanhar as mudanças e melhorias feitas no submódulo, mantendo sua função de detectar e corrigir erros.

Palavras-chave: Sistema tolerante a falhas, Alta eficiência energética, FPGA, Ibex

TITLE: Updated the Fault Tolerance Module for the Multi-Core Processor to the new version of the Ibex submodule.

Abstract

Increasing the stability and fault tolerance of data transmission and collection systems is a growing necessity that parallels the advancement of aerospace engineering and the increasing use of satellites. This work describes the development and prototyping of a fault-tolerant module using the PULP platform and exploring redundancy techniques at the processing core level, as well as the update of this module to a new version of one of its submodules, the Ibex, in order to keep up with the changes and improvements made to the submodule, while maintaining its function of detecting and correcting errors.

Keywords: Fault-tolerant system, High energy efficiency, FPGA, Ibex

Introdução

A maior parte dos módulos de tolerância a falhas utilizados atualmente possui alto custo energético e reduz o desempenho do sistema ao qual pertencem, o que contrasta com as restrições comuns em sistemas aeroespaciais, que prezam pela redução de volume, massa e uso de energia. Por isso, simplificar e reduzir dispositivos semicondutores afeta esses sistemas de forma positiva.

Prototipar o módulo de tolerância a falhas permite que suas funcionalidades sejam testadas e validadas, além de abrir espaço para modificações e correções, aliado ao uso da plataforma PULP, que possibilita maior eficiência computacional. A atualização do módulo de tolerância a falhas também é importante para que seu desenvolvimento acompanhe os avanços feitos nos submódulos utilizados, nesse caso, o submódulo Ibex, um núcleo RISC-V de 32 bits escrito em SystemVerilog.

Metodologia

As modificações feitas no código atual do módulo de tolerância a falhas acompanham as atualizações do submódulo Ibex RISC-V Core.

Para a atualização do código para uma nova versão, foi utilizada a documentação do Ibex, disponibilizada pela lowRISC, enquanto o ambiente de desenvolvimento escolhido foi o AMD Vivado Design Suite e o AMD Vitis.

O hardware alvo para a prototipagem do módulo de tolerância a falhas são as FPGAs U50 da Alveo.

Resultados e Discussões

O módulo de tolerância a falhas, Cevero (Chip multi-processor for Very Energy-efficient aerospace missions), foi desenvolvido utilizando a linguagem SystemVerilog. As placas FPGA alvo para prototipagem são do modelo Alveo U50 e, por isso, os softwares utilizados foram o Vivado e o Vitis. Apesar de o código do Cevero ter sido mapeado para as placas e de um bitstream para programação ter sido gerado, não foi possível programar as FPGAs da maneira desejada para realizar os testes.

As placas utilizadas durante o projeto encontram-se instaladas no NPAD, na UFRN, que atualmente possui os softwares Vitis e Vivado instalados no nó de acesso às FPGAs, o que contribui para futuros testes utilizando o mesmo hardware alvo.

Apesar da não realização dos testes planejados, dado o curto período de atividade no plano de trabalho, o código atual do Cevero foi atualizado para utilizar a nova versão do Ibex, submódulo presente no projeto e responsável por atuar como núcleo de CPU do módulo de tolerância a falhas. Atualmente, o Cevero encontra-se utilizando a versão do Ibex disponível em 17 de março de 2025, com testes feitos apenas em simulações simples.

Conclusão

Ainda que a prototipagem dos módulos tolerantes a falhas não tenha alcançado a fase de testes, é evidente a possibilidade de adaptação do Cevero para execução no hardware escolhido. Além disso, atualizar regularmente o código do módulo tolerante a falhas é importante para manter os submódulos em sua versão mais recente, agregando melhorias e correções feitas ao longo do projeto.

Atualizar o Cevero permitiu o estudo da sua relação com o submódulo Ibex e do comportamento do Ibex em si. Além disso, encontrar falhas e realizar adaptações no código permitiu que a experiência na resolução de problemas complexos fosse adquirida, além de exercitar a lógica de maneira geral e a programação em SystemVerilog.

Referências

A. Pullini, D. Rossi, I. Loi, G. Tagliavini, and L. Benini. Mr.wolf: An energy-precision scalable parallel ultra low power soc for iot edge processing. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, pages 1–12, 2019.

Xilinx, “Vivado”, Version 2024.1, [Software], Xilinx, 2024, Available: <https://www.xilinx.com/support/download.html>

Xilinx, “Vivado Design Suite User Guide”, [Manual], Xilinx, 2024, Available: <https://docs.amd.com/r/en-US/ug973-vivado-release-notes-install-license/Release-Notes>

CÓDIGO: ET1721

AUTOR: JOSÉ HENRIQUE TARGINO DIAS GÓIS

ORIENTADOR: SAMUEL XAVIER DE SOUZA

TÍTULO: Userspace: Uma Biblioteca Padrão para Aplicações em Espaço de Usuário

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma biblioteca padrão chamada Userspace, implementada em Rust, com o objetivo de fornecer abstrações seguras para aplicações em nível de sistema operacional. A biblioteca foi projetada para funcionar sem dependência da biblioteca padrão de Rust (no_std), tornando-a adequada para ambientes de baixo nível e sistemas embarcados. Implementamos abstrações para diferentes arquiteturas de hardware (com foco inicial em x86_64), gerenciamento de memória, manipulação de formatos de arquivo executáveis (ELF) e um sistema robusto de tratamento de erros. Os resultados mostram que é possível criar abstrações de alto nível para programação de sistemas mantendo a segurança de memória garantida pelo Rust, sem comprometer o desempenho. O projeto contribui para o campo de desenvolvimento de sistemas ao fornecer ferramentas modernas e seguras para programação de baixo nível.

Palavras-chave: Rust. Programação de Sistemas. Segurança de Memória. Arquitetura

TITLE: Userspace: A Standard Library Aiding Userspace Applications

Abstract

This work presents the development of a standard library called Userspace, implemented in Rust, aiming to provide safe abstractions for system-level applications. The library was designed to work without depending on Rust's standard library (no_std), making it suitable for low-level environments and embedded systems. We implemented abstractions for different hardware architectures (with initial focus on x86_64), memory management, executable file format manipulation (ELF), and a robust error handling system. Results show that it is possible to create high-level abstractions for systems programming while maintaining the memory safety guaranteed by Rust, without compromising performance. The project contributes to the field of systems development by providing modern and secure tools for low-level programming.

Keywords: Rust. Systems Programming. Memory Safety. Computer Architecture.
ELF

Introdução

O desenvolvimento de software em nível de sistema operacional tradicionalmente envolve o uso de linguagens como C, que oferecem controle preciso sobre o hardware, mas carecem de garantias modernas de segurança de memória. Isso resulta em vulnerabilidades como buffer overflows, use-after-free e outros problemas que comprometem a segurança e estabilidade dos sistemas. A linguagem Rust surgiu como uma alternativa moderna, oferecendo o mesmo nível de controle de baixo nível com garantias de segurança de memória verificadas em tempo de compilação. No entanto, o desenvolvimento de aplicações em nível de sistema usando Rust ainda enfrenta desafios. A biblioteca padrão de Rust (std) depende de um sistema operacional subjacente, tornando-a inadequada para muitos cenários de programação de sistemas. Além disso, as abstrações existentes para programação em nível de sistema em Rust muitas vezes são fragmentadas ou incompletas. O projeto Userspace visa preencher essa lacuna fornecendo uma biblioteca padrão completa para desenvolvimento de aplicações em userspace, independente do sistema operacional subjacente. A biblioteca implementa:

- Abstrações seguras para diferentes arquiteturas de hardware (inicialmente x86_64)
- Gerenciamento de memória eficiente e seguro
- Manipulação de formatos de arquivo executáveis (como ELF - Executable and Linkable Format)
- Sistema robusto de tratamento de erros
- Interface consistente entre diferentes plataformas

Um dos principais diferenciais do projeto é sua abordagem baseada em traços (traits) e tipos genéricos, que permite uma extensibilidade significativa enquanto mantém a segurança de tipos em tempo de compilação. Isso permite que desenvolvedores adicionem suporte para novas arquiteturas e sistemas operacionais sem modificar o código existente. A importância deste trabalho reside na crescente necessidade de software de sistema seguro e confiável em uma era onde sistemas embarcados, IoT e infraestrutura crítica são cada vez mais prevalentes. Ao fornecer abstrações seguras para programação de baixo nível, a biblioteca Userspace contribui para o desenvolvimento de sistemas mais robustos e menos vulneráveis a falhas de segurança.

Metodologia

O desenvolvimento da biblioteca Userspace seguiu uma abordagem modular e baseada em componentes, com foco na segurança de tipos e memória. A metodologia adotada pode ser dividida nas seguintes etapas e componentes:

2.1 Ambiente de Desenvolvimento

O projeto foi desenvolvido utilizando Rust 2024 Edition, com recursos experimentais habilitados para suporte a expressões constantes genéricas e outros recursos avançados

da linguagem. Utilizamos o sistema de compilação Cargo para gerenciamento de dependências e compilação.

Configurações específicas foram aplicadas para permitir o desenvolvimento sem a biblioteca padrão de Rust:

```
1 # ![ no_std ]
2 # ![ allow ( incomplete_features ) ]
3 # ![ feature ( generic_const_exprs ) ]
4 # ![ feature ( generic_const_items ) ]
```

Um script de build personalizado (build.rs) foi implementado para gerenciar a compilação de componentes específicos da arquitetura e integração com código Assembly quando necessário.

2.2 Arquitetura do Software

A biblioteca foi estruturada em módulos claramente definidos, cada um responsável por uma área específica de funcionalidade:

- Core: Definições básicas e estrutura da biblioteca
- Target: Abstrações para arquiteturas de hardware e sistemas operacionais
- Memory: Gerenciamento de memória, incluindo stack e alocação
- File: Manipulação de formatos de arquivo, com foco em ELF
- Traits: Interfaces abstratas definindo comportamentos comuns
- Types: Tipos de dados específicos do domínio
- Result: Sistema de tratamento de erros

Cada módulo foi desenvolvido com interfaces claras e documentadas, permitindo integração e extensibilidade.

2.3 Implementação de Abstrações de Arquitetura

Para abstrair diferenças entre arquiteturas de hardware, implementamos um sistema baseado em traits:

1. Definição de traits genéricos representando capacidades comuns entre arquiteturas
2. Implementação específica para x86_64 como prova de conceito
3. Utilização de tipos associados e constantes genéricas para representar diferenças entre arquiteturas

Isso permite que o código cliente seja escrito de forma agnóstica à arquitetura subjacente, enquanto mantém a eficiência e especificidade necessárias para programação de sistemas.

2.4 Gerenciamento de Memória

O módulo de memória foi implementado com foco na segurança e eficiência:

1. Manipulação segura da stack, permitindo acesso a argumentos e variáveis de ambiente
2. Sistema de páginas para alocação eficiente de memória
3. Abstrações seguras em torno de ponteiros brutos
4. Implementação de funcionalidades básicas de alocação sem dependência da biblioteca padrão

2.5 Manipulação de Formatos de Arquivo

Para permitir a leitura e interpretação de arquivos executáveis, implementamos suporte ao formato ELF:

1. Parsing de cabeçalhos ELF conforme especificação
2. Abstrações para diferentes versões do formato (32/64 bits)
3. Validação de integridade e consistência
4. Acesso estruturado às seções e segmentos do arquivo

2.6 Metodologia de Teste

Para validar o funcionamento correto da biblioteca:

1. Desenvolvimento de um binário de teste que utiliza as funcionalidades da biblioteca
2. Testes de integração para verificar comportamento em diferentes ambientes
3. Validação manual em ambiente controlado

Resultados e Discussões

Os resultados do desenvolvimento da biblioteca Userspace demonstram a viabilidade de criar abstrações seguras para programação de sistemas usando Rust. A seguir, apresentamos os principais componentes implementados e discutimos sua relevância e implicações.

3.1 Estrutura da Biblioteca Core

O núcleo da biblioteca foi implementado com sucesso, fornecendo uma base sólida para os demais componentes:

4

```
1 # ![ no_std ]
```

```
2 # ![ allow ( incomplete_features ) ]
```

```
3 # ![ allow ( unused_assignments ) ]
```

```
4 # ![ feature ( generic_const_exprs ) ]
```

```
5 # ![ feature ( generic_const_items ) ]
```

```
6
```

```
7 pub struct Origin ;
```

```
8
```

```
9 # [ macro_use ]
```

```
10 pub mod macros ;
11 # [ macro_use ]
12 pub mod target ;
13 pub mod file ;
14 pub mod license ;
15 pub mod memory ;
16 pub mod panic ;
17 pub mod result ;
18 pub mod traits ;
19 pub mod types ;
20 pub use result :: { Error , Ok , Result } ;
21
```

```
22 trait _implement_primitives !() ;
```

Esta estrutura demonstra uma organização clara e modular, permitindo que usuários importem apenas os componentes necessários para suas aplicações. A ausência de depen-

dência da biblioteca padrão (`#![no_std]`) torna a biblioteca adequada para ambientes sem sistema operacional ou com recursos limitados.

3.2 Abstrações de Arquitetura

A implementação de abstrações de arquitetura demonstrou ser uma abordagem eficaz para lidar com diferenças entre plataformas. O sistema de módulos e traits permite que o código cliente seja escrito de forma portátil, enquanto mantém o desempenho otimizado:

```
1 pub mod architecture ;
2 pub mod operating_system ;
3 pub mod result ;
4
5 pub use architecture as arch ;
6 pub use architecture :: Arch ;
7 pub use operating_system as os ;
8 pub use operating_system :: Os ;
9
10 pub use result :: { Error , Ok , Result } ;
```

A arquitetura `x86_64` foi implementada como prova de conceito, com suporte para suas características específicas, como manipulação de registradores e convenções de chamada.

3.3 Ponto de Entrada e Manipulação de Stack

Um dos componentes mais importantes da biblioteca é a manipulação segura da stack de programa, permitindo acesso aos argumentos de linha de comando e variáveis de ambiente:

```
1 # [ unsafe ( no_mangle ) ]
2 pub extern " C " fn entry ( stack_pointer : crate :: target :: arch :: PointerType )
-> ! {
3
4
5 let stack_pointer = crate :: target :: arch :: Pointer ( stack_pointer ) ;
6
7 info !( " eXecuting Executable and Linkable Format \n \n " ) ;
8
```



```
7 let argc = stack_pointer .0 as * const usize ;
8 info !(" argc ={:?}\n " , unsafe { * argc } ) ;
9 let stack = userspace :: memory :: Stack :: from_pointer ( stack_pointer ) ;
10 // stack . print () ;
11 stack . arguments . print () ;
12
13 let arg0 = stack . arguments . get (0) . unwrap () ;
14 let arg0_pointer = arg0 . pointer ;
15
16 if ! arg0 . pointer .0. is_null () {
17 unsafe {
18 let cstr = core :: ffi :: CStr :: from_ptr ( arg0 . pointer .0 as * mut
i8 ) ;
19 let self_path = cstr . to_str () . unwrap () ;
20 userspace :: info !(" \n {:?}\n " , self_path ) ;
21 let identifier = userspace :: file :: format :: elf :: header ::
Identifier :: from_path ( self_path ) ;
22 userspace :: info !(" {:?}\n " , identifier ) ;
23 }
24 }
25
26 // ...
27 }
```

Esta implementação permite que programas acessem seus argumentos de linha de comando de forma segura, mesmo sem depender da biblioteca padrão. A abordagem baseada em tipos garante que erros comuns sejam detectados em tempo de compilação.

3.4 Gerenciamento de Memória

O módulo de gerenciamento de memória foi implementado com sucesso, fornecendo:

```
1 pub mod page ;
2 pub mod stack ;
3 pub use stack :: Stack ;
4 pub mod alloc ;
5 pub use alloc :: alloc ;
```

Este sistema permite alocação e gerenciamento de memória sem depender das facilidades da biblioteca padrão de Rust. As abstrações implementadas garantem segurança de memória enquanto mantêm o controle fino necessário para programação de sistemas.

3.5 Manipulação de Formatos de Arquivo

O suporte ao formato ELF foi implementado permitindo a leitura e interpretação de arquivos executáveis. Isso é crucial para funcionalidades como carregamento dinâmico de código e introspecção de executáveis.

Nossa implementação permite a leitura de cabeçalhos ELF, identificação do tipo de arquivo e extração de metadados importantes, como mostrado no trecho de código do ponto de entrada.

6

3.6 Desafios e Soluções

Durante o desenvolvimento, enfrentamos vários desafios:

1. Programação sem biblioteca padrão: A ausência da biblioteca padrão exigiu re-implementação de funcionalidades básicas. Solucionamos isso com implementações

cuidadosas das primitivas necessárias.

2. Segurança com operações de baixo nível: Manter a segurança de memória em código de baixo nível foi desafiador. Utilizamos encapsulamento de operações inseguras em APIs seguras para mitigar riscos.

3. Compatibilidade entre arquiteturas: Criar abstrações que funcionassem em diferentes arquiteturas exigiu design cuidadoso. O sistema de traits e tipos genéricos permitiu resolver esse desafio.

4. Tratamento de erros: Sem exceções ou panics, implementamos um sistema de Result personalizado que preserva informações de erro relevantes.

3.7 Comparação com Trabalhos Relacionados

Comparando com bibliotecas existentes como libc e outras implementações em Rust:

- A biblioteca Userspace oferece garantias de segurança de memória superiores às implementações em C
- Em comparação com outras bibliotecas Rust, nosso foco em portabilidade e independência de sistema operacional é distintivo
- A abordagem baseada em traits permite maior extensibilidade que implementações monolíticas

3.8 Limitações Atuais

Reconhecemos algumas limitações na implementação atual:

- Suporte limitado a uma única arquitetura (x86_64)
- Implementação parcial do formato ELF
- Ausência de algumas abstrações de alto nível que facilitariam o uso

Estas limitações serão abordadas em trabalhos futuros

Conclusão

O desenvolvimento da biblioteca Userspace demonstra a viabilidade de criar abstrações se-

guras e eficientes para programação de sistemas utilizando Rust. As principais conclusões

deste trabalho são:

7

1. É possível criar uma biblioteca para programação de sistemas que mantém as garantias de segurança de memória do Rust sem comprometer o desempenho ou a flexibilidade
2. A abordagem baseada em traits e tipos genéricos permite uma extensibilidade significativa, facilitando o suporte a novas arquiteturas e sistemas operacionais
3. Abstrações bem projetadas podem reduzir significativamente a complexidade da programação de baixo nível, mantendo o controle necessário sobre o hardware
4. A independência da biblioteca padrão (no_std) permite que a biblioteca seja utilizada em uma ampla variedade de ambientes, desde sistemas embarcados até aplicações de servidor de alto desempenho

Os resultados obtidos têm implicações importantes para o campo de desenvolvimento de sistemas:

- Demonstram a viabilidade de usar linguagens modernas com garantias de segurança para programação tradicionalmente dominada por C
- Fornecem uma base para o desenvolvimento de software de sistema mais seguro e confiável

- Abrem caminho para mais inovação no campo de abstrações de baixo nível
- Como trabalhos futuros, pretendemos:
- Estender o suporte para mais arquiteturas, como ARM e RISC-V
 - Implementar interfaces completas para chamadas de sistema em diferentes sistemas operacionais
 - Desenvolver abstrações para concorrência e paralelismo
 - Criar ferramentas para debugging e profiling
 - Expandir o suporte para formatos de arquivo e protocolos de rede

A biblioteca Userspace representa um passo importante na direção de tornar a programação de sistemas mais segura e acessível, contribuindo para o desenvolvimento de infraestruturas de software mais resilientes e confiáveis.

Referências

- [1] The Rust Programming Language Team. The Rust Programming Language. Disponível em: <https://doc.rust-lang.org/book/>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- [2] The Rust Programming Language Team. The Embedded Rust Book - A ‘no_std’ Rust Environment. Disponível em: <https://docs.rust-embedded.org/book/intro/no-std.html>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- [3] Tool Interface Standards Committee. Executable and Linking Format (ELF) Specification. Version 1.2, 1995.
- [4] The Rust Programming Language Team. The Rustonomicon. Disponível em: <https://doc.rust-lang.org/nomicon/>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- [5] The Rust Programming Language Team. Unstable Features. Disponível em: <https://doc.rust-lang.org/unstable-book/>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- [6] The GNU Project. The GNU C Library (glibc). Disponível em: <https://www.gnu.org/software/libc/>. Acesso em: 20 ago. 2023.
- [7] Rich Felker. musl libc. Disponível em: <https://musl.libc.org/>. Acesso em: 22 ago. 2023.
- [8] The Rust Embedded Working Group. The Embedded Rust Book. Disponível em: <https://docs.rust-embedded.org/book/>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- [9] Intel Corporation. Intel® 64 and IA-32 Architectures Software Developer’s Manual. 2023.

CÓDIGO: ET1728

AUTOR: NICOLLY KETLIN QUERINO SILVA

ORIENTADOR: VANESSA BECKER

TÍTULO: Análise da qualidade de água e identificação das fontes de eutrofização de reservatórios do semiárido.

Resumo

A qualidade da água de um corpo hídrico pode ser comprometida pelo desequilíbrio das interações tróficas, frequentemente associado ao aumento excessivo da biomassa de produtores primários. Nos reservatórios do semiárido, a eutrofização constitui uma problemática recorrente, potencializada pelas condições climáticas características da região. Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo identificar as fontes internas e externas de eutrofização em quatro reservatórios do semiárido —

Gargalheiras, Dourado, Boqueirão e Cruzeta — por meio da análise da qualidade da água. Para tanto, foram considerados parâmetros físicos (turbidez), hidrológicos (volume e precipitação), químicos (fósforo reativo solúvel e fósforo total) e biológicos (clorofila-a), essenciais para a compreensão da dinâmica trófica e para subsidiar a implementação de estratégias de manejo. Em linhas gerais, Gargalheiras e Dourado se mostraram eutróficos durante todo o período monitorado, os quatro reservatórios apresentaram perda de volume ao longo dos meses, que pode ter ocorrido por evapotranspiração.

Palavras-chave: Eutrofização, semiárido, reservatório.

TITLE: Water Quality Analysis and Identification of Eutrophication Sources in Semiarid Reservoirs

Abstract

The water quality of an aquatic body can be compromised by the imbalance of trophic interactions, often associated with the excessive increase in primary producers' biomass. In semiarid reservoirs, eutrophication is a recurrent issue, intensified by the region's characteristic climatic conditions. In this context, the present study aims to identify the internal and external sources of eutrophication in four semiarid reservoirs —

Gargalheiras, Dourado, Boqueirão, and Cruzeta — through water quality analysis. For this purpose, physical (turbidity), hydrological (volume and precipitation), chemical (soluble reactive phosphorus and total phosphorus), and biological (chlorophyll-a) parameters were considered, as they are essential for understanding trophic dynamics and supporting the implementation of management strategies. In general terms,

Gargalheiras and Dourado remained eutrophic throughout the entire monitoring period, while all four reservoirs showed volume loss over the months, which may have occurred due to evapotranspiration.

Keywords: Eutrophication, Semiarid, Reservoir.

Introdução

A eutrofização é um processo natural que os ecossistemas aquáticos sofrem, mas que tem sido acelerado pelas atividades humanas (Le Moal et al., 2019). O aumento das concentrações de nutrientes em corpos d'água pode ter origem em fontes internas e externas, sendo que as externas podem ser difusas ou pontuais (Carpenter et al., 1998). No Brasil, o semiárido ocupa 11% do território nacional e possui características distintas em relação a outras regiões semiáridas. Essas características incluem elevada variabilidade espacial e temporal das precipitações, altas temperaturas, solos rasos e pouco estruturados, cobertura vegetal decidual (Caatinga), bacias de drenagem compostas por rios e riachos intermitentes e elevado potencial de evapotranspiração. (Monicelli et al., 2023). Tanto o clima chuvoso quanto o clima seco do semiárido podem afetar a eutrofização dos reservatórios. O clima seco acarreta um aumento na temperatura da água, na qual essa temperatura é uma variável física que assume grande importância na produtividade biológica da água e na liberação de fósforo do sedimento (Braga et al., (2015), enquanto o clima chuvoso acarreta o escoamento superficial, introduzindo matéria orgânica, potencialmente rica em fósforo e nitrogênio. Como consequência prática da eutrofização, destaca-se as florações de cianobactérias, consideradas um grave problema ambiental e de saúde pública, principalmente em reservatórios utilizados para o abastecimento humano, como é o caso dos reservatórios do semiárido do Rio Grande do Norte (Costa et al., 2009). Nesse contexto, é válido salientar a importância de cunho social, econômico e ambiental dos mananciais da região semiárida, uma vez que estes viabilizam usos múltiplos – abastecimento humano, recreação, pesca, dessedentação animal e agricultura irrigada (Nascimento, 2015) Diante dos fatos mencionados, este estudo tem como objetivo analisar a qualidade da água e identificar as fontes de eutrofização nos corpos hídricos semiáridos, sendo fundamental para compreender a dinâmica trófica e permitir a aplicação de estratégias mitigadoras, como a geoengenharia. O estudo também se relaciona aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU: ODS 6 (Água potável e saneamento), 13 (Ação contra a mudança global do clima), 14 (Vida na água) e 15 (Vida terrestre).

Metodologia

As análises do presente estudo foram realizadas nos reservatórios Boqueirão de Parelhas (ou Ministro João Alves), Cruzeta, Dourado e Gargalheiras (ou Marechal Dutra), componentes da bacia Piranhas-Açu, situada no nordeste brasileiro. Esta bacia é de grande importância econômica para o estado do Rio Grande do Norte pois ocupa uma superfície de 17.498,5 km², que corresponde a cerca de 32% do território estadual (SEMARH, 2014). As amostras de água da região do epilímnio foram coletadas mensalmente, no período de setembro de 2024 a agosto de 2025, nos reservatórios Gargalheiras e Dourado, excetuando-se os meses de novembro de 2024, fevereiro e

maio de 2025. Ressalta-se que, neste trabalho, a partir de junho de 2025, o monitoramento no reservatório Boqueirão foi descontinuado, sendo este substituído pelo reservatório Cruzeta. Os dados de volume e precipitação pluviométrica foram obtidos no portal da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), com posterior conversão do volume em hm^3 para m^3 . No laboratório, as amostras de Clorofila-a (Chla-a) e Fósforo Reativo Solúvel (FRS) foram inicialmente filtradas em filtros de fibra de vidro com porosidade de $1,2 \mu\text{m}$. A turbidez foi determinada através do turbidímetro digital. Para a análise de Fósforo Total (PT), utilizou-se a água bruta coletada. Tanto o FRS quanto o PT foram quantificados por meio do método colorimétrico de [Murphy & Riley (1962)], sendo que, para PT, as amostras passaram por digestão ácida [Valderrama (1981)]. A Chla-a foi extraída com etanol 95% e mensurada por meio do espectrofotômetro - também utilizado nas análises de SRP e PT [Jespersen & Christoffersen (1987)]. O grau de trofia foi avaliado através da classificação do estado trófico definida por Thornton e Rast (1993), utilizando valores de concentrações de PT e Chla-a, sendo possível categorizar o estado trófico em mesotrófico ($\text{PT} < 50 \mu\text{g/L}$ e $\text{Chla-a} < 15 \mu\text{g/L}$) e eutrófico ($\text{PT} > 50 \mu\text{g/L}$ e $\text{Chla-a} > 15 \mu\text{g/L}$).

Resultados e Discussões

RESULTADOS De acordo com o gráfico de volume (m^3) apresentado no Anexo 1, verifica-se que Boqueirão apresentou incremento no armazenamento hídrico durante o mês de março de 2025, seguido por tendência de redução nos outros meses. Situação semelhante foi identificada em Gargalheiras, que registrou discreto aumento no volume em agosto, apresentando decréscimo nos demais períodos. Já Cruzeta e Dourado não apresentaram ganho de volume ao longo do período analisado. Em relação à precipitação pluviométrica (Anexo 2), observa-se que Gargalheiras e Boqueirão registraram maiores índices nos meses de janeiro e abril de 2025. Dourado apresentou precipitação intensa em março, enquanto em junho do mesmo ano Cruzeta destacou-se com pico de precipitação. Quanto à turbidez, nota-se, através do anexo 3, que Gargalheiras apresentou elevação na maior parte do período considerado, se destacando em abril de 2025. Dourado teve alta turbidez em julho, apresentando um pico. Boqueirão e Cruzeta se mantiveram similares durante todos os meses. Acerca da Clorofila (anexo 4), Gargalheiras apresentou valores $>15 \mu\text{g/L}$ em todos os oito meses de monitoramento, sendo sua média $51,22 \mu\text{g/L}$. De igual modo, Dourado apresentou valores $>15 \mu\text{g/L}$, ficando com média $33,57 \mu\text{g/L}$. Nos 5 meses de monitoramento, Boqueirão apresentou valores $<15 \mu\text{g/L}$ - menos em dezembro de 2024, ficando com média $12,29 \mu\text{g/L}$. Por sua vez, Cruzeta, nos três meses de monitoramento, apresentou valores $<15 \mu\text{g/L}$, ficando com média $11,27 \mu\text{g/L}$. No que se refere ao fósforo total (Anexo 5), o reservatório Gargalheiras apresentou média de $78,4 \mu\text{g/L}$, enquanto Dourado obteve $76,5 \mu\text{g/L}$. Já Boqueirão registrou média de $49,83 \mu\text{g/L}$ e Cruzeta, $51,33 \mu\text{g/L}$. Conforme ilustrado no gráfico, em dezembro de 2024, a análise de PT não foi realizada para Dourado. Em janeiro de 2025, foi realizada para o respectivo reservatório, mas não foi para os outros. Por fim, o Fósforo Reativo Solúvel, (anexo 6), revelou valores abaixo de $35 \mu\text{g/L}$ para todos os reservatórios - exceto em dezembro, para Gargalheiras. **DISCUSSÃO** Os resultados apresentados, permitem afirmar que os reservatórios Gargalheiras e Dourado, pelos valores de Chla-a e PT, encontram-se eutrofizados. Enquanto Boqueirão se mostrou mesotrófico. Apesar do reservatório

Cruzeta se mostrar mesotrófico na classificação para chl-a, em PT se mostrou acima de 50 µg / L, sendo considerado eutrófico. A biomassa fitoplanctônica, analisada indiretamente pela clorofila-a, se relaciona com a turbidez avaliada, visto que houve redução da transparência da água para o aumento da turbidez. Quanto ao volume, o decaimento nos quatro reservatórios, pode ter ocorrido por evapotranspiração, captação para uso humano ou escoamento, essas variações impactam os ecossistemas aquáticos do semiárido, mesmo diante de reservatórios já eutróficos, pois há aumento das concentrações de nutrientes e clorofila (Figueiredo e Becker, 2018). Os dados revelam variação na precipitação pluviométrica, decorrente do clima do semiárido. Pesquisas identificam consistentemente 30–35 µg/L como o limite superior crítico de FRS em rios e lagos (Withers et al., 2017). Entretanto, os valores baixos de FRS não indicam escassez de fósforo (P) nestes mananciais, isso ocorre porque FRS encontrado nas águas semiáridas pode ser rapidamente assimilado pelos organismos fotossintetizantes presentes no ambiente. (Monicelli et al., 2023). Por fim, a eutrofização, nos reservatórios identificados, resulta da combinação de fontes externas — aporte difuso de nutrientes via precipitação e escoamento — e fontes internas — reciclagem de fósforo e alta biomassa fitoplanctônica, particularmente em Gargalheiras e Dourado.

Conclusão

Os reservatórios do semiárido brasileiro exercem papel fundamental ao viabilizar usos múltiplos para a população, sendo imprescindível destacar sua relevância social, econômica e ambiental. A partir das análises de qualidade da água realizadas, constatou-se que três dos mananciais monitorados se mantiveram em estado de eutrofização durante todo o período estudado, apresentando comprometimento contínuo tanto em seus aspectos qualitativos (qualidade hídrica) quanto quantitativos (volume armazenado). Esses resultados reforçam o objetivo deste trabalho ao evidenciar que o monitoramento mensal dos reservatórios do semiárido — historicamente marcados pela vulnerabilidade — é indispensável para subsidiar a adoção de políticas públicas e estratégias mitigadoras eficazes que considerem tanto entradas externas quanto a dinâmica interna de nutrientes.

Referências

BRAGA, G. G.; BECKER, V.; OLIVEIRA, J. N. P.; MENDONÇA JUNIOR, J. R.; BEZERRA, A. F. M.; TORRES, L. M.; GALVÃO, Â. M. F.; MATTOS, A. (2015). “Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region”. *Acta Limnologia Brasiliensia*, 27(1), pp. 15-23. CARPENTER, S.R., 2008. Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 105, 11039-11040. <https://doi.org/10.1073/pnas.080611205> COSTA, I. A. S., CUNHA, S. R. S., PANOSSO, R., ARAÚJO, M. F. F., MELO, J. L. S., ESKINAZI-SANT’ANNA, E. M. Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semiárido do Rio Grande do Norte. *Rev. Oecol. Bras.*, 2009, 13(2): 382-40. FIGUEIREDO, A. L. e BECKER, V. (2018). “Influência de eventos hidrológicos extremos na qualidade da água reservatórios na região tropical semiárida”. *Brasileiro Journal of Water Resources*, 23, e53. Jespersen A. -M., Christoffersen K., 1987,

Measurements of chlorophyll a from phytoplankton using ethanol as an extraction solvent, Arch. Hydrobiol., 109, 445–454. LE MOAL, M. et al. Eutrophication: A new wine in an old bottle? Science of the Total Environment, v. 651, p. 1–11, 2019. MONICELLI, F. et al. Trophic state in Brazilian semiarid reservoirs after reflooding. Rev. RBRH, Porto Alegre, v. 28, e37, 2023. Murphy, J. A. M. E. S., & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica chimica acta, 27, 31-36. Nascimento, A. R. V. J. (2015). Atributos físicos e químicos de áreas degradadas pela mineração de scheelita na região tropical semiárida. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária – Natal, RN. SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. 2016. Disponível em: <<http://www.semarh.rn.gov.br/>>. Acesso em: 28 ago. 2025. THORNTON, J.A.; RAST, W. (1993). “A test of hypothesis relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes”. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 1-24. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-1096-1_1. Valderrama, J.C. 1981. The simultaneous analysis of total N and total P in natural waters. Mar. Chem. 10: 109-122. Withers, P., Hodgkinson, R., Rollett, A., Dyer, C., Dils, R., Collins, A., Bilsborrow, P., Bailey, G., & Sylvester-Bradley, R. (2017). Reducing soil phosphorus fertility brings potential long-term environmental gains: A UK analysis. Environmental Research Letters, 12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa69fc>.

Anexos



Anexo 3 - turbidez



Anexo 1 - volume



Anexo 2 - Precipitação pluviométrica (mm)



Anexo 4 - Chla-a



Anexo 5 - PT



Anexo 6 - FRS

CÓDIGO: ET1749

AUTOR: GABRIEL RODRIGUES SOUSA DE LIMA

ORIENTADOR: JOSE HERIBERTO OLIVEIRA DO NASCIMENTO

TÍTULO: Síntese de pontos quânticos de grafeno dopado com nitrogênio e potencial aplicação em células de perovskita

Resumo

Este trabalho teve como foco a síntese e caracterização de pontos quânticos de grafeno dopados com nitrogênio (N-GQDs) visando sua aplicação em células solares de perovskita de alta eficiência. A motivação parte da necessidade de melhorar o transporte e a extração de cargas nesses dispositivos, minimizando perdas associadas à termalização e recombinação. Para isso, os N-GQDs foram propostos como aditivos funcionais capazes de interagir com íons Pb^{2+} ; da rede cristalina da perovskita, elevando o nível de energia de Fermi e reduzindo a taxa de recombinação. O projeto contemplou a síntese de óxido de grafeno, sua redução por método verde, e a dopagem com nitrogênio em diferentes concentrações, seguida de caracterização óptica (UV-Vis, fotoluminescência) e elétrica (curvas JV, espectroscopia de impedância). Em seguida, as heterojunções N-GQDs/perovskita foram depositadas em substratos rígidos (vidro FTO) e flexíveis (plástico e têxtil), visando aplicações em dispositivos portáteis e de baixo custo. Os resultados apontam que a incorporação dos N-GQDs contribui para maior estabilidade e eficiência fotovoltaica, confirmando seu potencial como estratégia promissora no desenvolvimento de células solares de perovskita de próxima geração.

Palavras-chave: Borofeno; Materiais 2D; Grafeno; Pontos quânticos; Perovskita.

TITLE: Synthesis of nitrogen-doped graphene quantum dots and their potential application in perovskite solar cells

Abstract

This work focused on the synthesis and characterization of nitrogen-doped graphene quantum dots (N-GQDs) for application in high-efficiency perovskite solar cells. The motivation arises from the need to enhance charge transport and extraction in these devices, reducing losses associated with thermalization and recombination. N-GQDs were proposed as functional additives able to interact with Pb^{2+} ions in the perovskite crystalline lattice, raising the Fermi energy level and decreasing recombination rates. The project included the synthesis of graphene oxide, its reduction through a green method, and nitrogen doping at different concentrations, followed by optical (UV-Vis, photoluminescence) and electrical (JV curves, impedance spectroscopy)

characterization. Subsequently, N-GQDs/perovskite heterojunctions were deposited on rigid (FTO glass) and flexible (plastic and textile) substrates, aiming at portable and low-cost device applications. The results indicate that N-GQDs incorporation improves stability and photovoltaic efficiency, confirming their potential as a promising strategy for the development of next-generation perovskite solar cells.

Keywords: Borophene; 2D materials; Graphene; Quantum dots; Perovskite.

Introdução

A busca por fontes de energia renováveis, limpas e de alta eficiência energética tem impulsionado intensas pesquisas no campo dos materiais avançados. Entre as diversas alternativas, as células solares de perovskita (PSCs) emergiram como uma tecnologia promissora devido ao seu baixo custo de fabricação, elevada eficiência de conversão e possibilidade de aplicação em substratos flexíveis. Desde sua introdução, as PSCs demonstraram avanços significativos, alcançando eficiências superiores a 25%, tornando-se fortes candidatas a substituir ou complementar as tecnologias baseadas em silício. No entanto, desafios como a instabilidade estrutural, a degradação em condições ambientais e as perdas associadas à recombinação de cargas ainda limitam sua aplicação em larga escala. Nesse contexto, a integração de materiais bidimensionais (2D) e de pontos quânticos (QDs) surge como uma estratégia relevante para superar tais barreiras. O grafeno, por sua alta mobilidade eletrônica e versatilidade estrutural, já foi amplamente investigado como aditivo em PSCs. Contudo, sua baixa dispersão em solventes e tendência à agregação restringem sua eficiência. Os pontos quânticos de grafeno (GQDs), especialmente quando dopados com heteroátomos como o nitrogênio, apresentam propriedades eletrônicas e ópticas ajustáveis, maior estabilidade em solução e bandgap aberto devido ao confinamento quântico. Tais características tornam os N-GQDs candidatos ideais para atuar como transportadores e mediadores de carga em PSCs, reduzindo perdas por recombinação e aumentando a estabilidade dos dispositivos. Além disso, a possibilidade de processar tais heterojunções em substratos flexíveis abre caminho para a produção de dispositivos portáteis, leves e de baixo custo. Este trabalho, inserido no projeto “Produção de Célula Solar de alta eficiência energética obtida com Perovskita, materiais 2D e pontos quânticos”, teve como objetivo central estudar a síntese, caracterização e aplicação de N-GQDs em células solares de perovskita, explorando suas contribuições para o desempenho fotovoltaico e suas perspectivas para futuras aplicações tecnológicas.

Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho contemplou três etapas principais: (i) síntese dos pontos quânticos de grafeno dopados com nitrogênio (N-GQDs), (ii) caracterização estrutural, óptica e elétrica dos nanomateriais e (iii) aplicação dos N-GQDs em heterojunções com perovskita depositadas em diferentes substratos. Na primeira etapa, o grafeno foi inicialmente oxidado para obtenção de óxido de grafeno (GO), seguido de sua redução utilizando agente redutor de origem verde, visando maior sustentabilidade no processo. A dopagem com nitrogênio foi realizada em condições controladas, obtendo diferentes concentrações de N-GQDs. A síntese foi conduzida de modo a

preservar a integridade estrutural do grafeno e favorecer a introdução homogênea de nitrogênio em sua rede cristalina. Na etapa de caracterização, diferentes técnicas foram empregadas. A caracterização óptica envolveu espectroscopia UV-Vis e fotoluminescência, permitindo avaliar as propriedades eletrônicas e o bandgap dos N-GQDs. A caracterização elétrica incluiu curvas corrente-tensão (JV) sob iluminação padrão AM 1.5G e espectroscopia de impedância eletroquímica, permitindo compreender a dinâmica de transporte de cargas e o efeito dos aditivos na recombinação. Técnicas complementares, como espectroscopia Raman e microscopia eletrônica, também foram empregadas para análise estrutural. Na etapa de aplicação, os N-GQDs foram incorporados a filmes de perovskita para formação de heterojunções. Os filmes foram depositados sobre substratos rígidos (vidro FTO) e flexíveis (polímero têxtil e plástico), utilizando a técnica de spray coating. Após o revestimento, os dispositivos foram submetidos a secagem em estufa controlada e posterior deposição de camadas auxiliares, como spiro-MeOTAD, visando completar a estrutura da célula solar. As heterojunções resultantes foram testadas quanto à eficiência, estabilidade e durabilidade em condições laboratoriais padronizadas. Todos os ensaios e caracterizações descritos foram efetuados nas instalações da UFRN e com parceiros de pesquisa que fazem parte do grupo GPIMN (Grupo de pesquisa em inovação em micro e nanotecnologias). Essa metodologia permitiu não apenas a obtenção e caracterização de N-GQDs, mas também a avaliação direta de seu impacto em dispositivos fotovoltaicos de perovskita, relacionando parâmetros de síntese às propriedades finais dos dispositivos.

Resultados e Discussões

Os resultados obtidos confirmaram o potencial dos pontos quânticos de grafeno dopados com nitrogênio (N-GQDs) como aditivos promissores para células solares de perovskita. A síntese mostrou-se eficiente, garantindo a produção de N-GQDs estáveis e homogêneos, com bandgap em torno de 2,3 eV, conforme previsto. A espectroscopia UV-Vis e de fotoluminescência revelou transições ópticas bem definidas, indicando a preservação do efeito de confinamento quântico. As análises estruturais por espectroscopia Raman evidenciaram as bandas D, G e 2D, características do grafeno e seus derivados, confirmando a inserção de nitrogênio e a manutenção da integridade da rede de carbono. Já os testes elétricos demonstraram que as células solares contendo N-GQDs apresentaram maior eficiência de conversão em comparação com aquelas sem aditivos, além de maior estabilidade sob condições ambientais. Nos substratos flexíveis, verificou-se que as heterojunções N-GQDs/perovskita mantiveram desempenho satisfatório, abrindo caminho para aplicações em dispositivos portáteis e vestíveis. As curvas JV evidenciaram maior densidade de corrente e menor resistência série nos dispositivos modificados, enquanto a espectroscopia de impedância indicou redução significativa da recombinação de cargas. Esses resultados sugerem que a presença dos N-GQDs atua como um funil de elétrons, acelerando a extração de portadores e competindo eficientemente com os processos de termalização. Além disso, a interação dos N-GQDs com íons Pb^{2+} na rede da perovskita contribui para estabilizar sua estrutura cristalina, aumentando a durabilidade do dispositivo. De modo geral, este estudo reforça a viabilidade de utilização de pontos quânticos de grafeno dopados com nitrogênio como estratégia para melhorar o desempenho de células solares de perovskita, conciliando alta eficiência, flexibilidade e baixo custo de produção.

Conclusão

A integração de pontos quânticos de grafeno dopados com nitrogênio (N-GQDs) em células solares de perovskita mostrou-se uma estratégia eficaz para melhorar a eficiência de conversão e a estabilidade dos dispositivos. Os N-GQDs atuaram como mediadores de carga, reduzindo perdas por recombinação e favorecendo o transporte eletrônico. Além disso, a possibilidade de deposição em substratos flexíveis amplia o leque de aplicações potenciais, incluindo dispositivos portáteis e têxteis inteligentes. Apesar dos avanços obtidos, desafios permanecem relacionados à otimização da síntese em escala e ao controle preciso da dopagem, os quais serão fundamentais para viabilizar futuras aplicações comerciais. Em suma, os resultados apresentados neste trabalho confirmam o grande potencial dos N-GQDs como aditivos em células solares de próxima geração, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias energéticas mais sustentáveis e acessíveis.

Referências

- Wang, Jacob Tse-Wei, et al. "Low-temperature processed electron collection layers of graphene/TiO₂ nanocomposites in thin film perovskite solar cells." *Nano letters* 14.2 (2014): 724-730.
- Zhang, W. E. I., et al. "Enhancement of perovskite-based solar cells employing core-shell metal nanoparticles." *Nano letters* 13.9 (2013): 4505-4510.
- Hadadian, Mahboubeh, et al. "Enhancing efficiency of perovskite solar cells via N-doped graphene: crystal modification and surface passivation." *Advanced materials* 28.39 (2016): 8681-8686.
- Zhang, Zhipan, et al. "Graphene quantum dots: an emerging material for energy-related applications and beyond." *Energy & Environmental Science* 5.10 (2012): 8869-8890.
- Zhu, Zonglong, et al. "Efficiency enhancement of perovskite solar cells through fast electron extraction: the role of graphene quantum dots." *Journal of the American Chemical Society* 136.10 (2014): 3760-3763.
- Zhang, Hailin, et al. "Review on efficiency improvement effort of perovskite solar cell." *Solar Energy* 233 (2022): 421-434.
- Wang, Shurong, et al. "Lewis acid/base approach for efficacious defect passivation in perovskite solar cells." *Journal of Materials Chemistry A* 8.25 (2020): 12201-12225.
- Neghabi, Sevda, and Rahim Ghadari. "Enhanced efficiency of the azo dye-sensitized solar cell via the cooperation of graphene oxide and graphene oxide/polypyrrole: Experimental and computational studies." *Electrochimica Acta* 479 (2024): 143865.
- Jung, Hyun Suk, et al. "Flexible perovskite solar cells." *Joule* 3.8 (2019): 1850-1880.
- Goje, Adamu Ahmed, et al. "Review of flexible perovskite solar cells for indoor and outdoor applications." *Materials for Renewable and Sustainable Energy* 13.1 (2024): 155-179.
- Dai, Xuezheng, et al. "Scalable fabrication of efficient perovskite solar modules on flexible glass substrates." *Advanced Energy Materials* 10.1 (2020): 1903108.
- Mohseni, H. R., et al. "Enhancement of the photovoltaic performance and the stability of perovskite solar cells via the modification of electron transport layers with reduced graphene oxide/polyaniline composite." *Solar Energy* 213 (2021): 59-66.
- Selvakumar, D., et al. "Heteroatom doped reduced graphene oxide paper for large area perovskite solar cells." *Solar Energy* 163 (2018): 564-569.
- Jang, Chan Wook, Dong Hee Shin,

and Suk-Ho Choi. "Photostable electron-transport-layer-free flexible graphene quantum dots/perovskite solar cells by employing bathocuproine interlayer." *Journal of Alloys and Compounds* 886 (2021): 161355. • Ke, Huizhen, et al. "Advances and Future Prospects of Wearable Textile-and Fiber-Based Solar Cells." *Solar RRL* 7.15 (2023): 2300109.

CÓDIGO: ET1758

AUTOR: MARIA EDUARDA CAVALCANTE DE SOUZA

ORIENTADOR: LINDEMBERG DE JESUS NOGUEIRA DUARTE

TÍTULO: Análise conversão de etanol e biogás em hidrogênio de baixo carbono utilizando um sistema híbrido de energia eólica-solar

Resumo

O hidrogênio verde tem ganhado destaque como uma solução para substituir combustíveis fósseis, alinhando-se às metas de descarbonização do Acordo de Paris e aos ODS. Produzido a partir de fontes renováveis, como solar e eólica, por meio da eletrólise da água, é uma alternativa promissora para um futuro energético sustentável. No entanto, ainda enfrenta desafios, como o alto custo e a eficiência limitada do processo de eletrólise. Este estudo busca otimizar as condições operacionais da eletrólise, ajustando a concentração de hidróxido de sódio (NaOH) e os tipos de eletrodos. Um sistema híbrido de energia solar e eólica forneceu a corrente necessária, e foram testadas diferentes concentrações de NaOH e três tipos de eletrodos (inox, cobre e alumínio). A concentração de 25 g de NaOH para 500 mL de água e o eletrodo de cobre mostraram os melhores resultados, com maior eficiência e menor tempo de reação. O estudo confirmou a importância da otimização desses parâmetros para melhorar a produção de hidrogênio verde. Os resultados fornecem uma base sólida para futuras etapas, incluindo o uso de flegmaça e a reforma de etanol e biogás.

Palavras-chave: Hidrogênio verde, eletrólise, energia renovável, sustentabilidade

TITLE: Evaluation of Low-Carbon Hydrogen Production from Ethanol and Biogas Reforming Using Wind and Solar Energy

Abstract

Green hydrogen has gained attention as a solution to replace fossil fuels, aligning with the decarbonization goals of the Paris Agreement and the SDGs. Produced from renewable sources like solar and wind energy through water electrolysis, it is a promising alternative for a sustainable energy future. However, it still faces challenges, such as high production costs and limited electrolysis efficiency. This study aims to optimize the operational conditions of electrolysis by adjusting the sodium hydroxide (NaOH) concentration and electrode types. A hybrid solar and wind energy system provided the required current, and different NaOH concentrations and three electrode

types (stainless steel, copper, and aluminum) were tested. A concentration of 25 g of NaOH per 500 mL of water and the copper electrode showed the best results, with higher efficiency and shorter reaction time. The study confirmed the importance of optimizing these parameters to improve green hydrogen production. The results provide a solid foundation for future steps, including the use of stillage and ethanol and biogas reforming.

Keywords: Green hydrogen, electrolysis, renewable energy, sustainability

Introdução

O Acordo de Paris e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU estabeleceram metas para a descarbonização do planeta, com foco crescente na adoção de fontes de energia renováveis. Dentre as alternativas promissoras, o hidrogênio verde se destaca como uma solução estratégica para substituir o petróleo e o gás natural, com a previsão de se tornar a principal fonte energética até 2050. O hidrogênio verde é produzido a partir de fontes de energia renováveis, como a solar e a eólica, por meio de um processo denominado eletrólise da água. A eletrólise é uma reação química de oxirredução, que ocorre pela passagem de corrente elétrica contínua e pela adição de um eletrólito. Nesse processo, a molécula de água (H_2O) é dissociada em hidrogênio (H_2) e oxigênio. Apesar de o hidrogênio verde ser uma opção promissora para a geração de energia limpa, seu processo de produção ainda enfrenta diversos desafios. Dentre os principais problemas, destacam-se o alto custo de produção, que resulta da dependência de fontes de energia renováveis e das tecnologias ainda em desenvolvimento, e a eficiência no processo de eletrólise, que pode ser impactada por diversos fatores, como a qualidade do eletrólito e o tipo de equipamento utilizado. Além disso, a intermitência das fontes de energia renovável, como a energia solar e eólica, também limita a produção contínua de hidrogênio, o que exige melhorias tanto nas tecnologias quanto na infraestrutura necessária para armazenamento e transporte. Nos últimos anos, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de otimizar a produção de hidrogênio. A eletrólise da água, que é o método utilizado para essa produção, vem sendo aprimorada de várias maneiras. Isso inclui a exploração de diferentes tipos de eletrodos, fabricados a partir de materiais diversos, visando melhorar sua condutividade e eficiência. Além disso, a utilização de diferentes tipos de eletrólitos, especialmente aqueles empregados em sistemas de eletrólise alcalina, também tem sido um foco importante das pesquisas. Nas etapas iniciais deste estudo, foi realizada a eletrólise alcalina com o objetivo de ajustar os parâmetros para uma reação mais eficiente. Utilizou-se um sistema híbrido eólico-solar-bateria, responsável por fornecer a energia necessária para a aplicação da corrente no processo de eletrólise. Foram testadas diferentes concentrações de hidróxido de sódio, sendo 10 g, 25 g e 200 g de NaOH para 500 mL de água destilada. As condições operacionais, como voltagem e amperagem, também foram ajustadas e testadas para otimizar a eficiência do processo. Utilizou-se uma célula eletrolítica projetada para otimizar a separação dos gases gerados, com uma divisória interna que impede a contaminação mútua entre oxigênio e hidrogênio. Após a definição dos melhores parâmetros nessas etapas iniciais, pretende-se aplicar os mesmos para utilizar a flegmaça, um resíduo da destilação do etanol, no processo de eletrólise. Assim, antes de estudar a reforma do etanol para a produção de hidrogênio verde, o estudo se

concentrará na aplicação do sistema híbrido eólico- solar-bateria para a eletrólise da flegmaça.

Metodologia

Para gerar a corrente necessária para realizar a eletrólise e, consequentemente, produzir o hidrogênio verde, foi utilizado um sistema híbrido de energia solar e eólica. O sistema é composto por painéis solares, um microaerogerador eólico, um inversor para converter a energia elétrica em corrente alternada e uma bateria para armazenar a energia gerada. Nesse estudo foi desenvolvido uma célula eletrolítica, que possui as seguintes dimensões: 6 cm de largura na lateral, 16 cm de largura na frente e 9 cm de altura. Além disso, a célula conta com uma divisória interna, equipada com uma janela, que serve para separar o oxigênio do hidrogênio durante a reação de eletrólise. Essa divisória é essencial para garantir a pureza dos gases gerados, otimizando a eficiência do processo. Inicialmente, foram testadas três concentrações de hidróxido de sódio (NaOH) para o processo de eletrólise: 10 g de NaOH dissolvidos em 500 mL de água destilada, 200 g de NaOH em 500 mL de água e, por fim, 25 g de NaOH em 500 mL de água destilada. A concentração de 25 g de NaOH em 500 mL de água foi a que apresentou melhor desempenho, sendo, portanto, a escolhida como parâmetro para os testes subsequentes. Com a concentração definida, foram avaliados três tipos de eletrodos na célula eletrolítica: alumínio, inox e cobre, com o objetivo de analisar a eficiência de cada um durante o processo de eletrólise. Posteriormente, pretende-se testar a aplicação da membrana Nafion 211 na divisória da célula eletrolítica. Essa membrana, feita de um material polimérico, é amplamente utilizada em processos eletroquímicos devido à sua alta condutividade protônica e baixa permeabilidade a gases, o que favorece a separação eficiente entre ânodo e cátodo. No contexto da eletrólise da água, a Nafion 211 pode contribuir para minimizar a recombinação dos gases gerados, aumentar a pureza do hidrogênio produzido e melhorar a eficiência geral do sistema.

Resultados e Discussões

Os testes iniciais com diferentes concentrações de hidróxido de sódio mostraram variações significativas no comportamento da reação de eletrólise. Quando foi utilizada uma concentração menor, a reação demorou consideravelmente mais tempo para ocorrer, indicando uma eficiência reduzida. Por outro lado, a concentração maior exigiu um aumento na voltagem e amperagem para manter o processo, o que não foi ideal em termos de eficiência energética. Após essas comparações, ficou evidente que a concentração de 25g de hidróxido de sódio para 500ml de água destilada apresentou os melhores resultados, com uma reação mais rápida e eficiente, estabelecendo-a como a condição ideal para os seguintes testes com os eletrodos. A comparação entre os três tipos de eletrodos testados – inox, cobre e alumínio – revelou diferenças notáveis no desempenho da eletrólise. O eletrodo de inox apresentou uma voltagem inicial de 12,19V e uma amperagem de 0,2A, enquanto o de cobre mostrou uma voltagem de 11,90V e amperagem de 0,1A. O eletrodo de alumínio, por sua vez, apresentou um tempo de reação significativamente maior, indicando que não é o mais eficiente para esse processo. Embora o inox tenha uma maior resistência à corrosão e a temperaturas

elevadas, e o cobre tenha mostrado maior eficiência com menor resistência e tempo de reação mais rápido, os resultados sugerem que o cobre seria a escolha mais adequada, considerando os parâmetros de voltagem, amperagem e tempo de reação. O sistema híbrido de energia solar e eólica foi utilizado para fornecer a corrente elétrica necessária à eletrólise. De acordo com o gráfico obtido diretamente do sistema, durante o primeiro teste, a energia solar gerada foi de 1,84 kW, com um consumo de 48 W, como é mostrado na figura 2. Já no segundo dia de testes, a energia solar aumentou para 2,43 kW, enquanto o consumo foi de 56 W, como mostrado na figura 3. A corrente elétrica aplicada à célula eletrolítica para realizar a eletrólise foi proveniente dessa energia gerada pelo sistema híbrido.

Conclusão

Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstraram que a concentração de 25g de hidróxido de sódio para 500ml de água destilada foi a mais eficiente para o processo de eletrólise, apresentando a melhor relação entre voltagem, amperagem e tempo de reação. Além disso, foi observado que o eletrodo de cobre proporcionou o melhor desempenho em termos de eficiência, com menor resistência e tempo de reação mais rápido, em comparação aos eletrodos de inox e alumínio. Esses resultados indicam que o uso de cobre pode ser vantajoso para otimizar o processo de produção de hidrogênio verde. A compreensão e o ajuste dos parâmetros da eletrólise foram fundamentais para as etapas iniciais deste trabalho, pois forneceram uma base sólida para a implementação das etapas subsequentes. Os parâmetros estabelecidos servirão de referência para a aplicação da flegmaça no processo de eletrólise, e, posteriormente, para focar na reforma do etanol a partir desse resíduo, proveniente do mesmo.

Referências

PAIVA, Suelya da Silva Mendonça de. Produção de hidrogênio verde ambientalmente sustentável. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Natal, 2022. CUNHA, Paula Cordeiro Rodrigues da. Efeito da adição de hidrogênio produzido a partir de eletrólise alcalina no desempenho de um motor de combustão interna. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química, Uberlândia, 2017.

CÓDIGO: ET1761

AUTOR: DAMARA EMILY VILAR DE ARAUJO

ORIENTADOR: ANA PAULA CYSNE BARBOSA

TÍTULO: Levantamento de dados sobre demanda de materiais para energia eólica, reutilização e reciclagem de materiais

Resumo

Com a crescente demanda de energia limpa, o mercado de energia eólica no Brasil tem papel estratégico na diversificação da matriz energética e na redução das emissões, em especial a região Nordeste, responsável por mais de 90% da capacidade nacional instalada. Atualmente, o país já ultrapassa 30 GW em operação onshore e possui mais de 100 projetos offshore em licenciamento para acrescentar mais de 240 GW ao sistema elétrico.

Entretanto, a expansão do setor traz consigo desafios relacionados ao intensivo uso de materiais, sobretudo compósitos de matriz polimérica que utilizados na fabricação das pás, cuja reciclagem ainda é limitada. Este estudo analisou modelos de aerogeradores mais empregados na região Nordeste e estimou a intensidade de material de compósito, destacando o impacto da futura desativação de turbinas. A avaliação considerou dados de fabricantes, relatórios de ciclo de vida e estimativas de massa de componentes. Verificou-se que turbinas maiores, como as offshore, demandam volumes crescentes de compósitos, embora novas tecnologias como pás híbridas com fibra de vidro e de carbono, apontem redução relativa da intensidade. Esse estudo evidencia a urgência e traz algumas estratégias para circularização e reciclagem, já que os aterros sanitários permanecem como destino predominante. Conclui-se que alinhar crescimento eólico com soluções de reaproveitamento de materiais é primordial para a consolidação da energia eólica como fonte sustentável.

Palavras-chave: Compósitos. Energia eólica. Reciclagem. Turbina Eólica.

TITLE: Survey on material demand for wind energy, reuse, and recycling of materials

Abstract

With the growing demand for clean energy, the wind energy market in Brazil plays a strategic role in diversifying the energy matrix and reducing emissions, especially in the

Northeast region, which accounts for more than 90% of the country's installed capacity. Currently, Brazil already exceeds 30 GW of onshore capacity in operation and has more than 100 offshore projects under licensing, aiming to add over 240 GW to the power system.

However, the sector's expansion brings challenges related to the intensive use of materials, particularly polymer-matrix composites used in blade manufacturing, whose recycling is still limited. This study analyzed wind turbine models most widely employed in the Northeast region and estimated the composite material intensity, highlighting the impact of future turbine decommissioning. The assessment considered manufacturer data, life cycle reports, and component mass estimates. It was found that larger turbines, such as offshore models, require increasing volumes of composites, although new technologies such as hybrid blades made with both glass and carbon fibers indicate a relative reduction in intensity.

This study highlights the urgency and presents some strategies for circularity and recycling, as landfills remain the predominant destination. It concludes that aligning wind energy growth with material reuse solutions is essential for consolidating wind energy as a truly sustainable source.

Keywords: Composites. Wind power. Recycling. Wind Turbine.

Introdução

A busca por fontes de energia renováveis tem ganhado destaque global diante dos desafios climáticos e da necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis. No Brasil, a energia eólica emerge como uma das alternativas mais promissoras, contribuindo significativamente para a diversificação da matriz energética nacional. Com um potencial eólico onshore e offshore, estimado em mais de 1.500 GW segundo a ABEEÓLICA, o país tem investido no desenvolvimento de parques eólicos, especialmente na região Nordeste, onde as condições naturais favorecem a geração de energia a partir dos ventos.

O Brasil já se encontra entre os dez maiores produtores de energia eólica do mundo, alcançando o quinto lugar (Figura 1) com uma capacidade instalada de 33,7 GW no ano de 2024, e a região Nordeste é responsável por 92,2% (Figura 2) dessa capacidade total instalada, o que demonstra que a região é a maior detentora de parques eólicos, e portanto de aerogeradores (Abeeólica, 2024). Conforme observa-se na Figura 3, só no ano de 2023 foram instalados 123 novos parques eólicos no Brasil, e todos eles pertencem a estados da região nordeste (Abeeólica, 2023).

Além disso, no Global Wind Report 2024, é mostrada a evolução da energia eólica no Brasil, que vem atingindo a três anos novos recordes eólicos, se tornando referência

mundial na transição energética limpa, totalizando mais de 1.000 parques eólicos em operação atualmente, todos onshore. De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama, atualmente, 103 novos projetos eólicos offshore já solicitaram licenciamento ambiental e estão sendo avaliados, e 50 desses 103 (Figura 4) estão localizados no Nordeste. A soma total deste empreendimento trará mais de 240 GW de potência instalada no Brasil (Ibama, 2024).

De acordo com um estudo da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, que analisa a situação atual de empreendimentos eólicos ao fim da vida útil, mais de 50 parques instalaram um total de 600 turbinas até o ano de 2010 (EPE, 2021). A vida útil média de um aerogerador em torno de 20 anos, então até 2030 esses parques deverão enfrentar problemas relativos ao descontinuação e reciclagem de aerogeradores, em vista da necessidade de modernização dos mesmos ou possível descomissionamento do parque (EPE, 2021). Conforme Figura 5, a maioria desses parques se encontram justamente na região nordeste, o que enfatiza a necessidade do desenvolvimento de soluções sustentáveis para a gestão dos materiais residuais dessas turbinas. Segundo um estudo da American Recycler, o número de toneladas de resíduos de pás eólicas geradas por ano vêm se acumulando para cerca de 50.000, e aumentará até 500.000 toneladas até 2030 (Markets and Markets, 2017).

Nesse contexto de transição energética eólica no Brasil, torna-se essencial avaliar a demanda de materiais necessários para a instalação e operação de aerogeradores onshore e offshore, bem como as estratégias de reutilização e reciclagem ao final da vida útil dessas estruturas.

Assim, este estudo busca levantar dados sobre a intensidade de materiais, com foco em materiais compósitos, nas instalações eólicas brasileiras, analisando possibilidades de reaproveitamento e circularização, com ênfase no contexto do Nordeste, onde a capacidade instalada é predominante. Ademais, a circularização de materiais ao final da vida útil das turbinas contribui para a redução de desperdícios e a mitigação de desafios relacionados ao descarte desses componentes.

Metodologia

A primeira etapa da pesquisa consistiu em coletar dados sobre a produção de energia eólica, a fim de quantificar a quantidade de material compósito necessária para fabricação de 1 MW de energia gerada (intensidade de massa). Para isso, foi realizado um levantamento dos principais fabricantes e modelos de aerogeradores utilizados na região Nordeste. Na Figura 6, é possível identificar os maiores fornecedores de aerogeradores para os parques eólicos brasileiros no ano de 2022.

Como a maior concentração de aerogeradores, no geral está no nordeste, optou-se por levar em conta modelos dos maiores fabricantes dessa área para a análise.

Alguns fabricantes não disponibilizam nenhum tipo de detalhe técnicos sobre suas turbinas eólicas, e portanto alguns modelos utilizados não foram levados em consideração neste estudo, pois não foi possível encontrar nenhum tipo de dado sobre suas turbinas.

Os modelos mais utilizados foram encontrados em notas técnicas de Cálculo de Garantia Física para o ACL e no relatório de Dados de Entrada para Modelos Energéticos, ambos disponibilizados pela EPE. Nessas notas, estão disponibilizados dados de fabricantes, modelo, quantidades e localizações de cada aerogerador para cada parque analisado, já o relatório evidencia quais modelos são tendências do mercado eólico. Na perspectiva offshore, de acordo com o mapa de licenciamento de projetos offshore atualizado pelo Ibama em dezembro de 2024, foi possível encontrar o modelo de turbina eólica mais solicitado, que possui uma potência nominal de 15 MW (Ibama, 2024). Com base nisso, os modelos onshore e offshore selecionados para essa análise foram selecionados e descritos na Tabela 1.

A maioria dos fabricantes só informa os materiais de cada componente de suas turbinas ou a porcentagem de cada tipo de material que a constitui, e mas não disponibilizam informações sobre peso. Portanto, os modelos em questão também foram selecionados com base na disponibilidade de dados encontrada. A maioria dos dados sobre os materiais utilizados na fabricação das turbinas foram encontrados em relatórios de análise de ciclo de vida (LCA - Life Cycle Assessment) ou em documentos de declaração ambiental de produto (EPD - Environmental Product Declaration) das empresas fabricantes, todos públicos. Algumas empresas inclusive, disponibilizam portfólios contendo informações em porcentagem de materiais utilizados e dados de tamanho e peso de todas as turbinas eólicas.

Nos modelos que não foi possível encontrar nenhuma informação sobre o peso dos componentes da turbina, ou da turbina como um todo, apenas a composição de materiais em porcentagem, foi utilizada uma análise de valor feita pelo engenheiro eletricista Willey, no capítulo 6 do livro *Wind Power Generation and Wind Turbine Design*, para estimar a massa das turbinas de acordo com a capacidade energética gerada. Com base em um estudo da indústria que abrange mais de 150 turbinas de escala utilitária, Willey analisa as tendências e com base nelas, utiliza um conjunto de análise de 10 turbinas para montar um modelo que permite estimar cargas, massa e custo dos componentes para diferentes tamanhos de turbinas (Willey, 2010). A análise detalha a massa de vários componentes da turbina, incluindo pás, eixo principal, rolamentos, estrutura da nacela, torre, hub, rotor e fundação, através de modelos matemáticos e dados empíricos. Os dados plotados em termos de diâmetro do rotor e a potência nominal, apresentam curvas que ilustram como a massa desses componentes varia de acordo com o tamanho da turbina, como nas Figuras 7 e 8, que expressam respectivamente, a massa do conjunto nacela e rotor (THM - Top Head Mass), e a massa da torre. Juntas, as massas representam a massa total da turbina.

Assim, foi possível utilizar as curvas de massa para estimar a massa de cada parte dessas turbinas, e em seguida as quantidades de materiais. Sabendo então a potência nominal e quantidade de material gerada por cada modelo de turbina, é possível analisar a quantidade de material necessária para produzir 1 MW. Como o foco desta pesquisa são os materiais compósitos, a comparação será feita apenas nesse quesito.

Resultados e Discussões

Os cálculos de materiais foram feitos para cada modelo e foi feita uma comparação da quantidade de material tipo compósito por megawatt gerado, conforme demonstrado na Tabela 2 e no gráfico da Figura 13.

Nota-se que a quantidade de material compósito utilizada na fabricação das turbinas eólicas é bastante semelhante entre os diferentes modelos. Com base na análise de 12 modelos, estimou-se uma média de 10,3 toneladas de material compósito por megawatt (t/MW), com um desvio padrão de 2,3 t/MW. Considerando que o Brasil até 2024 já contava com mais de 1.103 parques eólicos em operação (Abeeólica, 2024), e que há diversos projetos em andamento para expandir esse número, a quantidade de material compósito - composto principalmente por resinas epóxi, poliéster, fibra de vidro e fibra de carbono - tende a crescer significativamente.

Outro fator que contribui para o aumento desses números é a implementação de plataformas offshore, que utilizam turbinas com potências nominais mais elevadas. Para atingir potências maiores, é necessário ampliar o tamanho, o que implica no aumento do comprimento das pás, para permitir uma área de varredura maior.

Observa-se na Figura 9 que, à medida que o tamanho da turbina aumenta, há um crescimento significativo na potência nominal e, conseqüentemente, na sua densidade de potência específica. Esse efeito ocorre porque as turbinas maiores possuem um raio de varredura ampliado, permitindo capturar uma quantidade maior de energia cinética do vento, aumentando tanto a eficiência quanto a capacidade de geração de energia. No entanto, isso também resulta em pás cada vez maiores, demandando uma quantidade crescente de material compósito para sua fabricação.

Essa tendência de crescimento no uso de materiais compósitos reforça a importância de se desenvolver estratégias sustentáveis para a gestão de resíduos e a reciclagem desses materiais, especialmente diante da expansão contínua da energia eólica no Brasil, principalmente no Nordeste.

Por outro lado, estudos (Mone, 2015) apontam que com o avanço dos métodos de fabricação e design, os modelos mais atuais apresentam uma redução no uso de materiais compósitos. Todavia essa redução não é uniforme, mas de modo geral a intensidade material vem diminuindo com o tempo. Conforme é demonstrado na Figura 10, a evolução da intensidade de massa de turbinas eólicas ao longo do tempo.

Além disso, a fabricação de pás utilizando compósitos híbridos pode contribuir para a redução da quantidade total de material empregado. Na maioria dos modelos atuais, as pás são produzidas principalmente com fibra de vidro. No entanto, ao incorporar fibra de carbono nas longarinas (estruturas de suporte interno das pás), é possível alcançar uma redução significativa de peso. Com essa técnica, a massa de uma pá para uma turbina de 10 MW, que atualmente gira em torno de 40 toneladas, pode ser reduzida

para 32-34 toneladas, podendo chegar a 25 toneladas no futuro (Willey, 2010). Essa abordagem representa um avanço importante na sustentabilidade da indústria eólica, pois reduz a demanda por matérias-primas e minimiza o volume de resíduos gerados ao final do ciclo de vida das pás. Além disso, a leveza proporcionada pelos compósitos híbridos pode melhorar o desempenho das turbinas, permitindo maior eficiência na captação de energia eólica.

Como foi possível ver na análise de materiais, as resinas mais utilizadas nos compósitos aplicados em turbinas eólicas são a epóxi e a poliéster. Essas resinas são constituídas de ligações covalentes cruzadas, que as tornam infundíveis, sendo esse um dos principais desafios na reciclagem de compósitos. Alguns fabricantes de pás eólicas e proprietários de parques eólicos fornecem pás desativadas para empresas de reciclagem. Essas empresas processam essas pás e extraem as fibras, que são enviadas para usuários finais. No mercado de reciclagem mundial atual, o principal método que vem sendo utilizado é o mecânico (Markets and Markets, 2024). Isso se deve porque métodos térmicos e químicos apesar de apresentarem uma maior recuperação das fibras, ainda são muito caros e estão sendo estudados. Até os dias atuais, um dos principais meios de destinação final dos resíduos de aerogeradores ainda é o aterro sanitário. Como mostrado na Tabela 3, como um exemplo, 50 % dos polímeros são incinerados e os outros 50 % ainda possuem como destino final o aterro sanitário (Vestas, 2022).

O primeiro passo no geral para a reciclagem das pás envolve o transporte e o corte das mesmas em seções menores, para que possam ser manipuladas mais facilmente. Na rota mecânica, o material das pás é passado por várias técnicas de cominuição a fim de reduzir o tamanho do material. Já os processos térmicos envolvem a transformação dos resíduos em fonte de energia e em matérias-primas para reciclagem.

O processo de reciclagem mecânica geralmente começa com uma britagem primária, para reduzir o material das pás para pedaços na faixa de 50 a 100 mm. Com isso se torna mais fácil de fazer a separação dos materiais que compõem a pá, como partes metálicas e de madeira de balsa, ocasionando também na redução de volume, o que facilita o transporte. Após essa britagem primária, os pedaços são levados para um moinho martelo, e o material gerado agora tem uma faixa que varia de partículas menores que 50 μ m a 10 mm de tamanho. Após esses processos, o material é separado através de ciclones e peneiras, e então classificado. O resultado são frações fibrosas e frações de pó, contendo resíduos de polímero, fibra e enchimento. Com a classificação, o material pode ser separado porções contendo mais ou menos fração de um tipo de material. Geralmente o pó com partículas mais grosseiras costuma ter um maior teor de fibras. Já o pó mais fino contém maiores teores de polímero e de enchimento, e pode ser usado por exemplo na substituição do carbonato de cálcio em produtos de SMC (Sheet Molding Compound) ou BMC (Bulk Molding Compound), por possuir menor densidade (Pickering, 2006) .

Todos os materiais orgânicos possuem um poder calorífico, da mesma maneira os termofixos também possuem e podem ser usados como fonte de energia. Já as fibras contidas na matriz, possuem ponto de fusão muito alto e podem ter outro tipo de proveito, como a recuperação das mesmas. Assim, o poder calorífico de um composto reforçado depende apenas da fração de polímero presente, e é possível verificar esse efeito no gráfico da Figura 12 (Pickering, 2006). Durante a combustão do termofixo,

algumas cargas minerais presentes absorvem energia ao se decompor, mas a quantidade absorvida é pequena quando comparada ao poder calorífico total da resina. Uma rota eficaz para fazer a aproveitamento do reforço de fibra de vidro é a queima em fornos de cimento, para que a sílica e os minerais incombustíveis sejam incorporados ao clínquer. O principal é a presença de boro nas fibras de vidro tipo E-glass, muito utilizadas em compósitos. O boro causa retardo na cura do cimento, embora não influencie seu desempenho. É possível limitar a ação desse efeito restringindo valores maiores 0,2 % de óxido de boro, o que significa limitar a substituição do material de entrada do cimento com material compósito em até 10 % (Pickering, 2006).

Como o segmento de fibras de vidro é detentor da maior fatia de participação no mercado de compósitos, tanto em volume quanto em valor (Markets and Markets, 2017), a recuperação do material de reforço aumenta o valor do processo de reciclagem. Uma rota focada na recuperação dessas fibras com maior integridade seria utilizar um processo térmico de leito fluidizado. O processo utiliza resíduos de 25 mm para alimentar um leito fluidizado, composto de areia rica em sílica com partículas de 0,85 mm. Um fluxo de ar quente fluidifica a areia com velocidades de 0,4 à 1,0 m/s, entre 450 a 550 °C. No leito, o polímero é volatilizado, liberando as fibras e enchimentos, que são removidos do leito e separados. O gás resultante do processo é usado como combustível, gerando energia.

Conclusão

A partir dos dados coletados neste estudo e através da metodologia utilizada, em média, para cada 1 MW de potência nominal instalada por turbina eólica, são geradas $10,3 \pm 2,3$ toneladas de materiais compósitos após a vida útil da turbina. A cada ano, um número significativo de turbinas são descontinuadas, e embora boa parte dos materiais como os metais possam ser reaproveitados, os compósitos requerem técnicas mais avançadas de reciclagem. São necessários estratégias e planejamento adequados para promover a circularidade dos resíduos gerados, pois a cada ano vários parques são descomissionados ao mesmo tempo que novos são instalados, gerando acúmulo de resíduos desenfreado.

Apesar da tendência de redução na intensidade de massa dos materiais compósitos proveniente dos avanços do uso de compósitos híbridos e técnicas de fabricação mais eficientes, a expansão do setor eólico, impulsionada pela implementação de plataformas offshore e pelo crescimento geral do mercado, continua a aumentar a demanda global por esses materiais. Portanto, é essencial equilibrar o desenvolvimento do setor com práticas sustentáveis, como estratégias de reciclagem e circularização, garantindo que a energia eólica caminhe para uma energia limpa. Ademais, as principais estratégias de reciclagem demonstraram usos promissores como é o caso da utilização do pó fino gerado pela reciclagem mecânica em produtos SMC e BMC, além da recuperação das fibras e produção de energia através de métodos como a pirólise. Entretanto, esses métodos ainda vêm sendo estudados para terem uma otimização.

A longo prazo, a reciclagem de materiais compósitos aliadas a essas melhorias dos processos de fabricação desempenharão um papel fundamental na redução da demanda por matérias-primas e no avanço da sustentabilidade da produção de energia eólica.

Como próximas etapas deste trabalho, resíduos de materiais compósitos fibra de vidro / epóxi serão avaliados quanto à possibilidade de reaproveitamento com a utilização de diferentes técnicas.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEólica). GE Renewable Energy instala Cypress no Brasil, primeira turbina eólica acima de 5 MW em operação no país. 2021. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/ge-renewable-energy-instala-cypress-no-brasil-primeira-turbina-eolica-acima-de-5-mw-em-operacao-no-pais/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEólica). Disponível em: <https://abeeolica.org.br>. Acesso em: 11 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEólica). Boletim Anual 2023. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2024/07/424_ABEEOLICA_BOLETIM-ANUAL-2024_DIGITAL_PT_V3.pdf. Acesso em: 04 jan. 2025.

BLACK RIDGE RESEARCH. Top wind turbine manufacturers, makers, companies, suppliers. 2021. Disponível em: https://www-blackridgeresearch-com.translate.google/blog/top-wind-turbine-manufacturers-makers-companies-suppliers?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc. Acesso em: 11 jan. 2025.

CARRARA, S.; ALVES DIAS, P.; PLAZZOTTA, B.; PAVEL, C. Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. EUR 30095 EN. JRC 119941. ISBN 978-92-76-16225-4. DOI: 10.2760/160859.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Empreendimentos eólicos ao fim da vida útil: situação atual e alternativas futuras. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-563/NT-EPE-DEE-012-2021.pdf>. Acesso em: 10 jan 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Cálculo de Garantia Física para o ACL. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/calculo-de-garantia-fisica-para-o-acl>. Acesso em: 19 jan. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Nota Técnica EPE-DEE-011/2021-R3 – Dados de entrada para modelos. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-836/NT%20EPE-DEE-011-2021-R3_Dados%20de%20entrada%20para%20modelos.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025.

EPOWER BAY. Fabricantes de aerogeradores: os maiores em operação no Brasil (2022). Disponível em: <https://www.epowerbay.com/single-post/fabricantes-de-aerogeradores-os-maiores-em-operacao-no-brasil-2022#:~:text=A%20Siemens%20e%20Gamesa%20possui%205.110,RN%20e%20CE%20e%20PI>. Acesso em: 12 jan. 2025.

GLOBAL WIND ATLAS. Disponível em: <https://globalwindatlas.info/en/area/Brazil>. Acesso em: 07 jan. 2025.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). Global Wind Report 2024. Disponível em: https://gwec.net/wp-content/uploads/2024/04/GWR-2024_digital-version_final-1.pdf. Acesso em: 29 jan 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Mapa CEM – dezembro, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/arquivos/20241211_Mapa_CEM_dezembro_2024.pdf. Acesso em: 8 jan. 2025.

MONE, Christopher; HAND, Maureen; BOLINGER, Mark; RAND, Joseph; HEIMILLER, Donna; HO, Jonathan. 2015 Cost of Wind Energy Review. National Renewable Energy Laboratory, 2017. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/66861.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2025.

NORDEX. LCA of Nordex Windfarm with Delta4000 turbines (without Annex B). 2020. Disponível em: <https://www.nordex-online.com/wp-content/uploads/sites/3/2020/03/LCA-of-Nordex-Windfarm-with-Delta4000-turbines-without-Annex-B.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

NORDEX. LCA Report - EPD of a Nordex wind farm with Delta4000 N149-5.X turbines (without Annex B). 2024. Disponível em: https://www.nordex-online.com/wp-content/uploads/sites/2/2024/10/LCA_Report_-_EPD_of_a_Nordex_wind_farm_with_Delta4000_N149-5.X_turbines_without_Annex_B.pdf. Acesso em: 30 jan. 2025.

NORDEX SE. EPD of the Nordex N163/5X Wind Turbine. 2016. Disponível em: https://www.epditaly.it/en/wp-content/uploads/2016/12/EPD_N163_5X.pdf. Acesso em: 8, jan. 2025.

NORDEX SE. Environmental Product Declaration: Wind farm with Nordex Delta 4000 N163/5.X wind turbines. 17 de março de 2023. Disponível em: [inserir link ou caminho do arquivo, caso disponível]. Acesso em: [inserir data de acesso].

NORDEX SE. EPD of a Nordex wind farm with Delta 4000 N149/5.X turbines LCA Report. Versão 2.0, 19 de julho de 2024. Disponível em: [inserir link ou caminho do arquivo, caso disponível]. Acesso em: [inserir data de acesso].

PICKERING, S. J. Recycling technologies for thermoset composite materials—current status. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, The 2nd International Conference: Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction. v. 37, n. 8, p. 1206–1215, 1 ago. 2006.

STEELE, Kenneth Curtis. Environmental and Economic Feasibility Assessment of a Wind Farm in the Westman Islands. 2022. Master's thesis – Faculty of Industrial Engineering, Mechanical Engineering, and Computer Science, University of Iceland, Reykjavik, 2022.

VESTAS. Material Use Brochure. 2023. Disponível em: https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/environment/2023_04_Material-Use-Brochure_Vestas.pdf.coredownload.inline.pdf. Acesso em: 4 jan. 2025.

VESTAS. Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V150-4.2 MW Wind Plant. Aarhus N: Vestas Wind Systems A/S, 2022.

VESTAS. Life Cycle Assessment of electricity production from an offshore V236-15 MW wind plant. Aarhus: Vestas Wind Systems A/S, 17 abr. 2024.

WEG. WIND TURBINE AGW 147/4.2 MW. Disponível em: <https://example.com/WEG-wind-turbine-exposition-english.pdf>. Acesso em: [inserir data de acesso].

WILLEY, L. D. Design and development of megawatt wind turbines. In: TONG, W. (Ed.). Wind Power Generation and Wind Turbine Design. Southampton: WIT Press, 2010. cap. 6, p. 187-253.

MARKETS AND MARKETS. Wind Blade Recycling Market, Industry Size Forecast Report. Report Code CH 9219. Publicado em novembro de 2024. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/wind-blade-recycling-market-21394334.html>. Acesso em: 24 ago. 2025.

MARKETS AND MARKETS. Wind Turbine Composites Material Market. Report Code CH 1554. Publicado em outubro de 2017. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/wind-turbine-composite-market-155405379.html>. Acesso em: 24 ago. 2025.





Figura 1 - Ranking por capacidade de energia eólica onshore total (Abecólica, 2024).



Figura 2 - Representatividade por região no balanço energético eólico total do Brasil (Abecólica, 2024).



Figura 3 - Número de novos parques instalados por estado (Abecólica, 2023).



Figura 4 - Número de novos projetos offshore por região e estado no Brasil (IBAMA, 2024).



Figura 5 - Parques eólicos com entrada em operação até 2010 e, portanto, com fim da vida útil estimada até 2030 (EPE, 2021).



Figura 6 - Maiores fabricantes de aerogeradores no Brasil (EPOWER BAY, 2022.).



Tabela 1 - Lista de modelos escolhidos para análise de materiais.



Figura 7 - Massa da Top Head Mass - THM, inclui nacele completa e rotor (Willey, 2010).



Figura 8 - Massa da torre (Willey, 2010).



Tabela 2 - Comparação da intensidade da massa de materiais compósitos.



Figura 9 - Gráfico de toneladas por MW instalado por modelo de turbina utilizado.



Figura 10 - Geometria de tamanho de turbina para o conjunto de estudos da indústria (WILLEY, 2010).



Figura 11 - Evolução da intensidade da massa ao longo dos anos (MONE, 2015).



Tabela 3 - Destinação de materiais de turbina eólica V150-4.2 MW em fim de vida útil (Adaptado de Vestas, 2022).



Figura 12 - Valor calorífico para compósito termofixos (Pickering, 2006).

CÓDIGO: ET1765

AUTOR: LARISSA SOARES DE SOUZA

ORIENTADOR: LUIZ MARCOS GARCIA GONCALVES

TÍTULO: ROBÓTICA EDUCACIONAL E QUESTÕES SOCIAIS: UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA COM ROBÓTICA EDUCACIONAL PARA CONSCIENTIZAÇÃO DA CAMPANHA #FAÇA BONITO

Resumo

Este trabalho apresenta a proposta pedagógica Semáforo do Toque, que utiliza a robótica educacional como ferramenta de conscientização social vinculada à Campanha Faça Bonito, de combate ao abuso e à exploração sexual de crianças e adolescentes. Desenvolvido no Laboratório de Robótica Educacional da UFRN, o projeto alia metodologias ativas, pensamento computacional e cidadania, promovendo o aprendizado sobre consentimento e toques seguros de forma lúdica e interativa. O protótipo, baseado em Arduino e complementado por versão digital no Scratch, possibilitou a participação ativa das crianças na identificação de situações de risco, reforçando a interdisciplinaridade entre ciência, tecnologia e questões sociais.

Palavras-chave: Robótica Educacional. Metodologias Ativas. BNCC. Semaforo do toque

TITLE: EDUCATIONAL ROBOTICS AND SOCIAL ISSUES: A PEDAGOGICAL PROPOSAL WITH EDUCATIONAL ROBOTICS TO RAISE AWARENESS OF THE #DOBEGOOD CAMPAIGN

Abstract

This paper presents the Touch Traffic Light pedagogical proposal, which uses educational robotics as a social awareness tool linked to the "Fare Bonito" Campaign, which combats the sexual abuse and exploitation of children and adolescents. Developed at the UFRN Educational Robotics Laboratory, the project combines active methodologies, computational thinking, and citizenship, promoting learning about consent and safe touching in a playful and interactive way. The prototype, based on Arduino and complemented by a digital version in Scratch, enabled children to actively participate in identifying risk situations, reinforcing the interdisciplinary approach between science, technology, and social issues.

Keywords: Educational Robotics. Active Methodologies. BNCC. Touch traffic light

Introdução

A robótica educacional integra diferentes áreas do conhecimento, como mecânica, elétrica/eletrônica e computação, com o objetivo de ensinar, de forma prática, habilidades de resolução de problemas, pensamento crítico e trabalho em equipe a crianças e jovens. Para sua implementação, podem ser utilizados diversos recursos, tais como materiais desplugados e plugados, kits comerciais, kits com materiais não estruturados, além de plataformas digitais (SANTOS, 2024). Por configurar-se como uma metodologia ativa que coloca o estudante no centro do processo de aprendizagem e favorece a aplicação prática, contextualizada e crítica dos conteúdos escolares, a robótica educacional tem se consolidado como uma estratégia de grande relevância para a educação do século XXI.

No Brasil, a inserção da robótica educacional no currículo escolar tem se fortalecido a partir de marcos regulatórios recentes. Sendo um deles a Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2017) que instituiu a cultura digital e o pensamento computacional como competências gerais da educação básica. Em 2022, a BNCC – Complemento Computação passou a vigorar, incluindo conteúdos organizados nos eixos Pensamento Computacional, Mundo Digital e Cultura Digital, que abrangem práticas pedagógicas relacionadas à mecânica, eletrônica, design e programação, em abordagens plugadas e desplugadas, ainda que não voltadas exclusivamente à robótica. Esse movimento foi ampliado com a instituição da Política Nacional de Educação Digital (PNED), pela Lei nº 14.533/2023, que assegura o acesso à tecnologia nos ambientes escolares, destacando a robótica como parte essencial do eixo de Educação Digital Escolar.

Nesse cenário, a robótica educacional se apresenta não apenas como recurso tecnológico inovador, mas também como estratégia interdisciplinar capaz de integrar conteúdos curriculares a temas sociais relevantes. Este trabalho, desenvolvido no Laboratório de Robótica Educacional (LRE/UFRN), pela pesquisadora Larissa Souza em cooperação com a Doutoranda em Educação Claudia Juliette e sob orientação do Prof. Luiz Marcos, teve como objetivo propor e aplicar uma abordagem pedagógica que articula a robótica educacional à “Campanha#Faça Bonito Proteja nossas Crianças”, realizada em 18 de maio – Dia Nacional de Combate ao Abuso e à Exploração Sexual de Crianças e Adolescentes.

A Campanha “Faça Bonito”, instituída pela Lei Federal nº 9.970/2000, completou 25 anos em 2025, fundamentando-se em três eixos: técnico, político e de mobilização social. A presente pesquisa visou contribuir especialmente com o eixo da mobilização social, ao sensibilizar crianças e adolescentes sobre situações de violência sexual, seus mecanismos de prevenção e os canais de denúncia disponíveis. Tendo em vista que a violência sexual contra crianças e adolescentes permanece como um grave problema no Brasil. Dados do Anuário Brasileiro de Segurança Pública (FBSP, 2023) registraram 63.430 casos em 2023, o que corresponde a uma ocorrência a cada oito minutos, com possibilidade de subnotificação. Do total, 87,3% das vítimas eram do sexo feminino, 48,3% tinham entre 10 e 14 anos, 67% das ocorrências com meninas ocorreram no ambiente doméstico e, em 85,1% dos casos, o agressor era alguém conhecido da vítima.

Esses números evidenciam a urgência de ações pedagógicas que promovam conscientização e prevenção, reafirmando a relevância social da presente proposta.

Durante o período da bolsa de Iniciação Científica, buscou articular o conhecimento técnico da engenharia com práticas pedagógicas voltadas à formação cidadã, de modo que foram desenvolvidas atividades de pesquisa bibliográfica, prototipagem do recurso educacional, registro em repositório público (GitHub), submissão e apresentação de artigo no 2025 Brazilian Conference on Robotics (CROS), além da produção de material de divulgação científica em redes sociais. Tais ações evidenciam não apenas os resultados técnicos e acadêmicos alcançados, mas também o impacto social da proposta, qu

Metodologia

O projeto desenvolvido ao longo da bolsa teve como objetivo central elaborar, implementar e avaliar o Semáforo do Toque, uma proposta de robótica educacional vinculada à campanha nacional #FaçaBonito, voltada para a conscientização de crianças acerca de toques seguros, consentimento e prevenção da violência. Buscou-se integrar fundamentos de engenharia da computação com metodologias ativas de ensino, de modo a criar um recurso lúdico e acessível que possibilitasse a reflexão sobre um tema sensível e essencial no contexto escolar.

As atividades foram estruturadas em etapas progressivas. Inicialmente, realizou-se um estudo exploratório sobre documentos oficiais que orientam a educação brasileira, como a BNCC (Base Nacional Comum Curricular), o Plano Nacional de Educação (PNE) e legislações voltadas à proteção da infância, além de uma revisão de literatura sobre robótica educacional e recursos pedagógicos aplicados à promoção de direitos. Esse levantamento teórico permitiu embasar o projeto e alinhar seus objetivos às diretrizes educacionais vigentes.

Para garantir uma perspectiva pedagógica consistente, contou-se com a colaboração da doutoranda Cláudia Juliette, que contribuiu para a elaboração de recursos didáticos voltados à prática docente. Entre eles, destaca-se o plano de aula direcionado ao 3º ano do Ensino Fundamental, mas passível de adaptação para outros níveis. O material inclui as habilidades da BNCC de Computação, objetivos gerais e específicos, metodologia sugerida, materiais necessários, referenciais e um instrumental de avaliação. Esse conjunto busca oferecer ao educador subsídios para avaliar tanto a eficácia da proposta quanto pontos de melhoria para aplicações futuras.

Paralelamente, passou-se ao planejamento e concepção do protótipo físico de conscientização, antes de sua construção foi utilizada a plataforma Tinkercad, escolhida por sua acessibilidade e pela possibilidade de simulação interativa de circuitos virtuais. Embora o protótipo físico tenha sido desenvolvido, ele não foi utilizado na aplicação devido à ausência de uma prototipagem atrativa e funcional para interação das crianças, sendo essa uma perspectiva de aprimoramento futuro.

Para o protótipo (Figura 4), foi utilizado um Arduino UNO em conjunto com botões e LEDs. O sistema foi organizado para favorecer a identificação visual, em que cada botão representava uma parte do corpo, associada a uma cor do semáforo: vermelho (proibido), amarelo (atenção) e verde (permitido). Por exemplo, ao pressionar o botão correspondente à testa, o LED verde era acionado, indicando permissão; para as pernas, o LED amarelo era aceso, sinalizando atenção; já para os seios, o LED vermelho indicava proibição.

No que se refere à programação, foram elaboradas duas abordagens:

C++: utilizando estruturas condicionais do tipo if, aplicada diretamente ao Arduino;

Programação em blocos: voltada a professores sem experiência prévia em programação, permitindo uma utilização mais intuitiva.

Devido às limitações de pinos do Arduino UNO (14 digitais e 6 analógicos), apenas algumas partes do corpo foram incluídas. A expansão para contemplar todas as regiões demandaria o uso de um Arduino Mega, o que encareceria o projeto além de ter o acesso a ele.

Com o objetivo de garantir maior acessibilidade, foi também elaborada uma versão digital do recurso implementada na plataforma Scratch, utilizando personagens masculino e feminino. Essa versão possibilita a utilização da proposta em escolas que não possuem kits de Arduino, mas dispõem de projetor, tablet ou computador. O projeto pode ser executado offline na plataforma PictoBlox, dispensando a necessidade de internet.

No Scratch, foram adicionados áudios aos personagens, sincronizados com a cor do semáforo correspondente. Por exemplo:

Ao tocar na boca, o LED vermelho é acionado e o personagem diz: “Opa! Não pode tocar aqui”;

Ao tocar na testa, acende o verde e o personagem responde: “Tá tudo bem tocar aqui”;

Ao tocar na bochecha, acende o amarelo com a fala: “Atenção! Tome cuidado”.

Com o objetivo de ampliar a divulgação e garantir acessibilidade a educadores interessados em replicar a proposta em sala de aula, foi desenvolvido um repositório no GitHub. Nele, estão disponibilizadas instruções detalhadas de uso, além de todos os recursos desenvolvidos, como os projetos no Scratch e no Tinkercad, com a versão do código em blocos e C++. [GITHUB]

Após o desenvolvimento, o protótipo foi aplicado na Escola Josefa Botelho, com alunos do 3º ano do Ensino Fundamental. Os resultados, observações e reações dos alunos são apresentados em detalhe na seção de Resultados e Discussão.

Resultados e Discussões

Para entender a aplicabilidade e resposta/interação das crianças, foi feita uma aplicação do protótipo abarcado por uma proposta pedagógica em uma turma de ensino fundamental dos anos iniciais, no terceiro ano, do turno vespertino, com o quantitativo de dezesseis alunos na Escola Josefa Botelho localizada no bairro da Vila de Ponta Negra na cidade de Natal. Para esse momento foi feito um diálogo com a professora de Educação Física da escola que já tinha trabalhado com um dos bolsistas do laboratório em sua época de estágio dentro da robótica educacional na escola, logo a professora já tinha um breve conhecimento sobre a RE.

Inicialmente foi feito um diálogo com as crianças falando sobre o corpo discutindo que todos temos um corpo, que nossos corpos são diferentes, são compostos por várias partes, questionamos as crianças sobre essas partes, sobre as funções de cada parte do corpo, permitindo que as crianças se expressassem livremente. Em um dado momento, questionamos as crianças se elas sabiam que nossos corpos possuem “partes íntimas”, e se elas sabem o que isso quer dizer. Explicamos que chamamos de “parte íntima” aquela parte do nosso corpo que ninguém pode tocar sem nossa permissão. Apresentamos as partes íntimas do corpo das meninas e do corpo dos meninos. Neste primeiro momento fizemos uma contação de história com o livro “Não me toca, seu boboca!”, da autora Andrea Taubman sempre com a interação com as crianças e criando esse primeiro contato delas com o tema, fazendo perguntas e instigando a participação.

Após, foi apresentado o recurso de robótica educacional para que as crianças, através do brincar, reconhecessem o padrão de permissão ou proibição de toque nas partes do corpo, através do Semáforo do Toque. As crianças interagiram com o recurso até se apropriarem dos padrões de permissão e proibição de toque. Por último, estava prevista a criação de um jogo da memória com as crianças além de passar um vídeo sobre o tema, contudo devido ao tempo e a falta de estrutura da escola não foi possível. Como alternativa, foi conduzida uma atividade desplugada no quadro: desenhou-se uma menina, um menino e um semáforo, e as crianças, em conjunto, construíram um algoritmo simples relacionando causa e consequência — ou seja, o toque e o acionamento da luz correspondente do semáforo. Essa estratégia fortaleceu tanto o desenvolvimento do pensamento computacional quanto a capacidade de reconhecer situações de violência.

Para fins de validação do trabalho foi realizado o artigo “Educational Robotics and Social Issues: A Pedagogical Proposal with Educational Robotics to Awareness of the #FaçaBonito Campaign” submetido e apresentado no 1º Congresso da Sociedade Brasileira de Robótica (CROS), realizado em Belo Horizonte/MG, e atualmente disponível no IEEE Xplore

Conclusão

O desenvolvimento desta iniciação científica, com foco na aplicação da proposta pedagógica do Semáforo do Toque, evidenciou a relevância da iniciativa no cenário educacional atual. Os resultados obtidos demonstraram não apenas a contribuição para a formação da pesquisadora em processo de desenvolvimento acadêmico, mas também influência na comunidade escolar, que se mostrou interessada em ampliar a experiência para outras turmas, reconhecendo o potencial do recurso como ferramenta de sensibilização e aprendizado.

Para estudos futuros, tem-se a pretensão de aprofundar o desenvolvimento do protótipo em diferentes formatos, como sua integração a bonecos impressos em 3D, visando ampliar a interação com as crianças, ou ainda utilizando materiais alternativos (ex.: papelão), que tornem sua construção ainda mais acessível em contextos de baixa infraestrutura. Além da investigação da viabilidade do uso de sensores de toque resistivos simples, capazes de detectar alterações de resistência provocadas pelo contato humano, o que pode tornar o dispositivo mais sensível e didático.

Além disso, a possibilidade de expansão da proposta em parcerias interdisciplinares com áreas como saúde e pedagogia, bem como a realização de aplicações em diferentes escolas e contextos, especialmente durante o mês da campanha #FaçaBonito, fortalecendo sua função social e educativa.

Dessa forma, este trabalho representa um passo inicial em direção ao desenvolvimento de ferramentas que unem a robótica educacional com o foco em atividades socioeducativas, reforçando o seu potencial como instrumento de conscientização em temas sociais relevantes.

Referências

L. S. de Souza, C. J. D. N. Araujo Maia, O. V. Santana-Júnior, L. R. L. Teixeira, L. T. Dos Santos Garcia and L. M. G. Gonçalves, "Educational Robotics and Social Issues: A Pedagogical Proposal with Educational Robotics to Awareness of the #FaçaBonito Campaign," 2025 Brazilian Conference on Robotics (CROS), Belo Horizonte, Brazil, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/CROS66186.2025.11066139.

GitHub proposal repository. Available at: <https://github.com/souzala/campanha-facabonito>. Accessed: Apr. 04, 2025.

SANTOS, R. C. PENSE FORA DO LIXO – Um projeto de Robótica Educacional com Sucata. REN9VE - Revista Científica Campus XIX - UNEB, v. 3, n. 4, p. 17–31, 2024.

Dados do Anuário Brasileiro de Segurança Pública, disponível em: <https://forumseguranca.org.br/publicacoes/anuario-brasileiro-de-seguranca-publica/>.

CÓDIGO: ET1778

AUTOR: LUAN GOMES PEREIRA

COAUTOR: VITOR PAIVA MEDEIROS DA CUNHA

ORIENTADOR: JOSE LUIZ DA SILVA JUNIOR

TÍTULO: Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas para a Melhoria da Eficiência Energética e Redução de Custos com Energia Elétrica na UFRN, incluindo o estudo de Migração para o Mercado Livre de Energia.

Resumo

Diante da vulnerabilidade financeira enfrentada pelas universidades públicas brasileiras nos últimos anos, o Capítulo Estudantil PES UFRN, pertencente ao Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), em conjunto com o professor José Luiz da Silva Júnior do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), criou o Grupo de Estudos em Energia Elétrica (GEEE). A fim de desenvolver estratégias que reduzissem os custos energéticos da Universidade, que, em 2024, acumularam quase 15% dos custos totais, o grupo de estudos retomou e ampliou as atividades anteriormente conduzidas pela extinta Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE). A metodologia envolveu a capacitação dos integrantes, análise de dados energéticos e estudos sobre migração para o mercado livre de energia e sobre redução de consumos ativo e reativo. O uso de ferramentas tecnológicas, como a linguagem de programação Python e a plataforma de Business Intelligence Power BI, viabilizaram a criação de sistemas de gestão de dados e dashboards detalhados, fomentando a transparência e eficiência na gestão energética. Sendo o grupo estruturado de maneira a permitir sua replicabilidade por grupos de estudos em outras universidades, os primeiros resultados incluem o restabelecimento do Painel de Monitoramento Energético da universidade, a definição de propostas de migração para o Mercado Livre de Energia (MLE), o levantamento de medidas práticas para reduzir custos e a capacitação técnica dos membros do grupo.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Redução de Custos. Gestão de Energia Elétrica.

TITLE: Development of Technological Solutions for Improving Energy Efficiency and Reducing Electricity Costs at UFRN, including a study on Migration to the Free Energy Market.

Abstract

In light of the financial vulnerability faced by Brazilian public universities in recent years, the PES UFRN Student Chapter, belonging to the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), together with Professor José Luiz da Silva Júnior from the Department of Electrical Engineering (DEE), created the Electric Energy Study Group (GEEE). In order to develop strategies to reduce

the University's energy costs, which in 2024 accounted for 15% of total costs, the study group resumed and expanded the activities previously conducted by the now defunct Internal Energy Conservation Commission (CICE). The methodology involved training members, analyzing energy data, and conducting studies on migration to the free energy market and on reducing active and reactive consumption. The use of technological tools, such as the Python programming language and the Power BI Business Intelligence platform, enabled the creation of data management systems and detailed dashboards, promoting transparency and efficiency in energy management. As the group is structured in such a way as to allow its replication by study groups at other universities, the first results include the reestablishment of the university's Energy Monitoring Panel, the definition of proposals for migration to the Free Energy Market (MLE), the survey of practical measures to reduce costs, and the technical training of group members.

Keywords: Energy Efficiency. Cost Reduction. Electrical Energy Management.

Introdução

Historicamente, as universidades públicas brasileiras apresentam vulnerabilidade financeira devido aos cortes orçamentários, o que gera defasagem na infraestrutura e nas oportunidades de ensino, pesquisa e extensão para a comunidade acadêmica. No caso da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), em 2024 houve uma redução orçamentária de 7,69% em relação ao ano anterior, podendo resultar em déficit de até 20 milhões de reais na transição para 2025 [1]. Além disso, os gastos energéticos da UFRN corresponderam, em 2024, a aproximadamente 15% de todo o orçamento da Instituição [2].

Frente a isso, no início de 2024, após um mapeamento realizado pela diretoria do Capítulo Estudantil Power and Energy Society do Ramo IEEE da Universidade (IEEE PES UFRN) sobre o interesse de novos membros na linha de pesquisa de soluções de eficiência energética e redução de custos, ocorreu a mobilização para a criação do Grupo de Estudos em Energia Elétrica (GEEE). Formado por membros voluntários do IEEE PES UFRN, o grupo contou inicialmente com 9 estudantes de engenharia, orientados por um professor, com o objetivo de definir medidas estratégicas que impactassem positivamente as despesas de energia da UFRN. Outrossim, o GEEE também teve como objetivo a retomada das atividades antes conduzidas pela extinta Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE) da UFRN, que era um programa do Governo Federal regido pelo Decreto nº 10.779/2021 [3].

A partir disso, o vice-presidente do IEEE PES UFRN em 2024 e ex-integrante da extinta CICE, Vitor Paiva, liderou as primeiras ações do projeto, com o apoio do professor Dr. José Luiz da Silva Júnior, do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), que era o principal responsável pela antiga CICE. Nas reuniões iniciais de planejamento, foram definidos três eixos principais de estudo e pesquisa: gerenciamento e transparência dos dados de consumo energético das Unidades Consumidoras (UCs) da UFRN, estudo de migração da UFRN para o Mercado Livre de Energia (MLE) e análise contínua de formas de otimização do consumo de energia ativa e reativa no Campus Central.

O primeiro eixo tratou da reestruturação de um sistema de gestão do histórico de consumo energético das UCs, possibilitando a centralização de informações, tomadas de decisões estratégicas mais embasadas e identificação do perfil de consumo de cada UC [4]. Tal sistema era mantido no passado pela CICE, mas estava desatualizado e necessitava de manutenção nas plataformas de Business Intelligence (BI), no código de extração das informações das faturas e nas bases de dados.

O segundo eixo de pesquisa envolve o estudo da viabilidade de migração da UFRN para o MLE, visando a negociação de contratos mais vantajosos em termos financeiros, onde o preço da energia contratada é livremente negociado entre o contratante e a comercializadora de energia, que pode estar localizada em qualquer parte do território nacional [5].

Por conseguinte, o terceiro eixo tem como foco a análise de possibilidades de redução de custos relacionados às grandezas ativas e reativas das UCs, por meio de medidas de otimização do consumo e Correção do Fator de Potência (CFP), resultando em um uso mais eficiente da energia elétrica [6] e evitando penalidades financeiras previstas na resolução normativa nº 956, de 7 de dezembro de 2021, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [7].

Por fim, após o planejamento preliminar, ocorreu a reunião (Figura 1) com o reitor da UFRN, Dr. José Daniel Diniz Melo, representando um marco de cooperação institucional entre o Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN e a Reitoria. Nesse momento, firmaram-se os compromissos do GEEE - IEEE PES UFRN com a Instituição: analisar alternativas de redução do consumo e dos custos de energia da Universidade; apoiar nas decisões e avaliações ligadas à matriz energética; e consolidar tanto a Universidade quanto o IEEE PES UFRN como referências no cenário sustentável e institucional a nível nacional.

Metodologia

A sistematização aplicada para desenvolver as atividades do projeto iniciou com as capacitações dos integrantes sobre os principais conceitos teóricos e o uso das plataformas de tratamento e análise de dados. Esses treinamentos foram ministrados por membros já com conhecimento aprofundado nas frentes de estudo: Vitor Paiva, Vinicius Carvalho e Rafael Gomes, sendo eles acadêmicos de Engenharia Elétrica. Após o período de qualificação, as atividades foram divididas de acordo com a afinidade de cada membro. Além disso, para acompanhamento realizavam-se reuniões semanais e que, atualmente, são quinzenais, junto ao professor orientador Dr. José Luiz da Silva Júnior, nas quais são discutidos avanços e dificuldades das demandas de cada integrante. Ao aplicar tais rotinas, os três eixos de pesquisa do GEEE foram operacionalizados da seguinte forma:

Gestão e transparência de dados: nesse primeiro eixo, o processo inicia com a coleta dos dados mais importantes das faturas de energia das UCs, as quais são disponibilizadas em arquivos padrão da concessionária de energia, em pdf, pela Superintendência de Infraestrutura da UFRN (INFRA), compartilhadas em uma pasta via Google Drive com o GEEE - IEEE PES UFRN. Essa coleta ocorre por meio de um código extrator, desenvolvido na linguagem de programação Python por membros da antiga CICE, o qual foi remodelado para atender aos novos padrões das faturas da Neoenergia Cosern e implementadas melhorias de extração, pelos membros do GEEE. Em sequência, esses dados são exportados em formato .csv e posteriormente tratados em uma planilha que organiza e filtra as principais informações. Após esse tratamento inicial, os dados são integrados a um banco de dados que reúne informações de todas as UCs da UFRN desde o ano de 2017. Neste banco, são realizados cálculos e implementações de parâmetros importantes para obter uma análise inicial do perfil de consumo de cada Unidade Consumidora (UC). Por fim, os dados mais relevantes, como consumo ativo total, valores totais das faturas, demanda ativa total, entre outros, são utilizados para alimentar os dashboards na plataforma de BI, ou seja, o Painel de Monitoramento Energético da UFRN. Estes apresentam análises detalhadas para uso interno, com o fito de estudos e implementação de medidas, enquanto uma versão externa promove a transparência de informações junto à comunidade acadêmica.

Estudo de migração para o MLE: para esse eixo, a primeira etapa consiste no levantamento de propostas em contato com comercializadoras para avaliar a viabilidade financeira dessa migração. Simultaneamente, foi realizado um *benchmarking* – pesquisa comparativa entre empresas de um mesmo setor [8] –, a fim de identificar boas práticas e avaliar a burocracia dos processos. A etapa posterior é a análise do custo de adequação do Sistema de Medição e Faturamento (SMF). Nessa fase, são realizados contatos com a concessionária local, no caso, a Neoenergia Cosern, com o fito de identificar ajustes necessários e possíveis custos operacionais envolvidos na adequação do sistema. Essa última etapa é importante, pois o levantamento dos

custos envolvidos na adequação do SMF auxilia no estudo de viabilidade das propostas apresentadas pelas empresas do MLE.

Redução de custos relativos às grandezas ativas e reativas da fatura de energia do Campus Central da UFRN: nesse eixo, o processo inicia com a coleta de dados, junto à INFRA, das memórias de massa dos medidores do Campus Central UFRN (arquivos com histórico de medições elétricas realizadas a cada 15 minutos). Posteriormente, os dados são distribuídos em três planilhas distintas: duas destas são destinadas à análise do consumo ativo e da demanda contratada, considerando as tarifas aplicadas e identificando possíveis anomalias no perfil de consumo da Unidade Consumidora (UC). A terceira planilha é voltada para a análise do comportamento do fator de potência e o dimensionamento do banco de capacitores, com o objetivo de reduzir o consumo reativo excedente e evitar cobranças por penalidades na fatura de energia e fornecer um sistema elétrico de distribuição mais eficiente. Por fim, foi elaborado um relatório com as análises realizadas e as principais medidas propostas para reduzir os custos com energia elétrica e otimizar o uso eficiente desse recurso. Esse relatório está previsto para ser apresentado à INFRA até o final de 2025, com data ainda a ser definida, para que o órgão avalie a viabilidade de implementação das ações sugeridas. A Figura 2 apresenta um esquema organizacional das principais ações em cada frente de estudo do GEEE.

Durante a execução do projeto, alguns desafios específicos foram enfrentados e solucionados com estratégias preventivas e colaborativas, garantindo a eficiência e continuidade das atividades. Um dos desafios já previstos desde a concepção do grupo foi o desnivelamento técnico entre os voluntários, decorrente da diversidade de períodos acadêmicos. Para mitigar, os membros mais experientes ministraram capacitações em um ciclo de dois meses no início das atividades. Assim, ao promover o aprendizado colaborativo, a iniciativa nivelou a base de conhecimento dos membros e fortaleceu o engajamento coletivo.

Outro desafio foi o impacto de momentos intensos nos semestres, como trabalhos e avaliações, em paralelo com os prazos das demandas do projeto. Para enfrentar isso, foi implementada uma política de diálogo constante entre os membros e aplicação da metodologia *Scrum* [9]. Essa abordagem, com reuniões de alinhamento quinzenais e comunicação assíncrona diária, favoreceu a confiança e a compreensão mútua entre os integrantes. Por fim, para assegurar o acompanhamento efetivo das atividades, utilizou-se a plataforma de controle de demandas (Figura 3). Tal ferramenta permitiu o monitoramento do desempenho individual de cada integrante e forneceu insumos para discussões nas reuniões sobre progressos, dificuldades e próximos passos.

Resultados e Discussões

Com a aplicação das etapas descritas no processo metodológico, foram obtidos diversos resultados que possibilitaram o avanço técnico e científico do projeto e o aprimoramento intelectual de cada membro do GEEE. Inicialmente, o protagonismo do Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN ao longo de 2024 esteve diretamente associado à consolidação do GEEE, sendo o principal meio de engajamento contínuo e sustentável dos membros do Capítulo. Além disso, o GEEE se destacou como uma ferramenta de formação de lideranças e valorização de talentos dentro do Capítulo, possibilitando o desenvolvimento de líderes que atualmente ocupam os cargos de presidente, vice-presidente e tesoureiro do IEEE PES UFRN, sendo eles Janaina Carvalho, Sofia Galvão e Luan Pereira, respectivamente. Logo, os resultados técnicos obtidos ao longo do período foram reflexo direto da organização estrutural do GEEE, cuja atuação ocorreu devido ao ambiente motivador e comprometido com o desenvolvimento pessoal e profissional de seus membros proporcionado pelo IEEE PES UFRN.

Entre os principais desdobramentos técnicos viabilizados por essa estrutura colaborativa, destaca-se o processo de coleta e tratamento dos dados das faturas de todas as UCs, que possibilitou a reativação e manutenção das plataformas de BI, tanto interna, conforme as Figuras 4, 5 e 6, para o gerenciamento das principais informações analíticas, quanto externa, de acordo com as Figuras 7, 8, 9, 10 e 11, com a finalidade de manter a transparência de informações para a comunidade acadêmica. Além disso, em março de 2025, foi realizada uma reunião de apresentação do Painel de Monitoramento Energético da UFRN (Figura 12) ao Superintendente da INFRA, professor Dr. Luiz Pedro de Araújo, ao Coordenador de Gestão dos Sistemas Elétricos - INFRA, João Maria Vital de Paiva e ao Diretor de Contabilidade e Finanças da Pró-Reitoria de Administração da UFRN, Daniel Bessa de Menezes. O encontro destacou os resultados significativos alcançados pelo projeto GEEE – IEEE PES UFRN em relação a plataforma de BI, resultando no pré-lançamento do sistema. Logo, após a realização de alguns ajustes finais, a expectativa é de que a divulgação oficial aconteça ainda em 2025 para toda a comunidade acadêmica, consolidando mais um passo rumo à transparência de dados, eficiência energética e inovação tecnológica na UFRN.

A partir da Reunião de apresentação do Painel de Monitoramento Energético da UFRN, foram realizadas algumas sugestões pelo Superintendente da INFRA e pelo Coordenador de Gestão dos Sistemas Elétricos, sendo a sugestão principal de inserir, na plataforma de BI externo, uma aba de previsão estimada dos principais parâmetros das UCs, incluindo a previsão de valores a serem pagos nos próximos anos. Diante disso, foi desenvolvido um código por membros do GEEE, em linguagem Python, com aplicação do algoritmo de previsão de séries temporais desenvolvido pelo Facebook (atualmente Meta) denominado de *Prophet* [10]. Esse algoritmo foi modelado para corresponder ao formato do banco de dados das UCs da UFRN e, após algumas adaptações, foi possível realizar previsões de até 5 anos dos possíveis cenários de consumo, demanda e seus respectivos valores das unidades. As Figuras 13 e 14 ilustram um protótipo das previsões obtidas com o código, incluindo as sazonalidades em determinados períodos (recesso acadêmico, feriados, finais de semana, etc.). Além disso, o código também gera os dados previstos em arquivo .csv, os quais são utilizados para alimentar o banco de dados geral e integrar o Painel de Monitoramento Energético da UFRN, onde tal processo de integração está em fase final de implementação.

Por conseguinte, o estudo de viabilidade da migração da UFRN para o MLE permitiu o levantamento de algumas informações importantes. A priori, a sondagem de propostas com comercializadoras locais e também de outros estados do país ocorreu a partir do contato com os principais empreendimentos do setor. Após esse contato inicial, foram realizadas reuniões de forma remota com três companhias distintas selecionadas previamente para a apresentação e discussão de planos de migração. Um esboço de uma dessas propostas discutidas pode ser observado na Figura 15. Atualmente, esses projetos encontram-se sob análise comparativa de viabilidade, em questão de cenários de custo financeiro, e avaliação burocrática de documentação para definir qual o melhor caminho a ser seguido. Em sequência, a aplicação do *benchmarking* retornou um caso de sucesso ocorrido na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 2002, sendo a primeira universidade pública brasileira a aderir ao MLE. Diante disso, foi realizado um estudo detalhado acerca do processo burocrático que a UNICAMP enfrentou para adentrar nesse setor, com o objetivo de reaplicar parte das medidas implementadas e organizar os documentos contratuais junto a esfera governamental. No momento atual, esses documentos estão em fase de elaboração e acertos de detalhes jurídicos para serem apresentados à Reitoria da UFRN.

Em relação à análise contínua do consumo ativo e das demandas contratadas do Campus Central da UFRN, foram analisados os dados que compreendem os meses de janeiro de 2024 a março de 2025. Com isso, diversos métodos de análise foram implementados pelas plataformas de tratamento de dados, resultando no levantamento de pontos importantes do perfil de consumo e gastos com energia da Universidade, como na Figura 16, que apresenta os gastos monetários, em reais, com consumo e demanda do Campus Central considerando o período de janeiro a setembro de 2024, por exemplo. O gráfico da Figura 16 foi utilizado para compreender o comportamento dos gastos no decorrer de cada mês, com diminuição em meses como janeiro, fevereiro, junho e dezembro, que compreendem geralmente os períodos de recessos

acadêmicos. Além disso, tal gráfico auxilia na identificação dos principais parâmetros que influenciam nos gastos, como o consumo fora ponta predominantemente.

Outrossim, as Figuras 17 e 18 exemplificam o comportamento do perfil consumo do Campus Central no primeiro trimestre de 2024, evidenciando os dias com maiores atividades que demandam a utilização de energia elétrica. Logo, com a identificação desse perfil de gastos e consumo, foi possível propor medidas, em relatório, que auxiliassem na diminuição de consumo fora ponta, principalmente, no horário determinado pela ANEEL, que compreende o intervalo das 00h00min às 17h59min e das 21h00min às 23h59min de cada dia. A coleta e o tratamento dos dados obtidos com as memórias de massa dos medidores do Campus possibilitaram a avaliação comportamental do fator de potência da unidade. Essa análise demonstrou que o fator está operando abaixo do ideal de acordo com a Resolução Normativa nº 956 da ANEEL [7], que julga como valor ideal igual ou superior a 0.92, sendo o fator de potência médio do Campus Central de 0.88, conforme exemplificado na Figura 19, ou seja, o sistema elétrico de distribuição do Campus Central não está operando de forma eficiente, sendo necessário realizar a correção desse fator para a melhoria de desempenho.

Além disso, o baixo fator de potência de uma unidade acarreta em penalidades financeiras com tarifas elevadas aplicadas pela concessionária, sendo o valor médio cobrado ao Campus Central, somente, em torno de R\$10.000,00 por mês, de acordo com a exemplificação da Figura 20. Com vistas a isso, uma das principais soluções encontradas para sanar esse problema consiste na instalação de um banco de capacitores, para “equilibrar” a parte indutiva injetada na rede, em paralelo com a rede geral de distribuição. Assim, foram realizados os dimensionamentos de um banco de capacitores máximo, médio e desejado a partir de uma planilha de tratamento de dados, conforme as Figuras 21, 22 e 23, respectivamente. Em geral, essa projeção permitiu entender o tamanho do banco de capacitores a ser instalado, que gira em torno de um banco com capacidade de 275kvarC, aproximadamente, e tal processo encontra-se em fase de estudo de mercado para o levantamento dos valores desses equipamentos.

Ainda considerando o levantamento do fator de potência médio do Campus Central, no geral, sem investigar cada edifício, foi avaliado também a adequação ao sistema de distribuição do banco de capacitores dimensionado, que atingiu um valor de aproximadamente 78,82% de atendimento. Esse percentual impacta na redução de até 95% do valor pago por penalidades devido ao baixo fator de potência, reduzindo um valor anual de aproximadamente R\$120.000,00 para aproximadamente R\$6.000,00 pago por consumo reativo excedente. Tal cenário simula a grande redução monetária que pode ocorrer com a instalação de um banco de capacitores, conforme os testes de adequação de um banco máximo, médio e desejado das Figuras 24, 25 e 26, respectivamente, o que necessita de um investimento inicial para ser aplicado, sendo esse o principal impasse no momento. Em seguida, com a análise do perfil de demanda ativa das unidades, foi realizado um levantamento que registrou a necessidade da diminuição de demanda ativa contratada ou mudança de grupo tarifário de 17 unidades. Logo, esse estudo mostra um meio de redução dos valores pagos por demanda ativa contratada, podendo reduzir em até 10% do valor total das faturas de todas as UCs.

Por conseguinte, a análise estatística dos dados de consumo e demanda elétrica, apresentada na Figura 27, possibilitou a identificação de padrões relevantes para o gerenciamento energético da unidade Campus Central. Diante disso, observou-se que o consumo ativo no horário de ponta, que compreende o intervalo das 18h00min a 20h59min, apresentou uma média de 195.197 kWh, com desvio padrão de 39.803 kWh, resultando em um coeficiente de variação de 20% compreendendo os primeiros 9 meses de 2024. Esses resultados evidenciam uma variabilidade considerável ao longo do período analisado, com valores mínimos e máximos de 153.077 kWh e 251.580 kWh, respectivamente. Ao se considerar o comportamento médio do 1º, 2º e 3º trimestres, destacam-se valores significativos: Consumo Fora Ponta de 1.740.293,33 kWh, Consumo na Ponta de 195.197,33 kWh, Demanda Fora Ponta de 5.659,73 kW e Demanda na Ponta de 4.084,27 kW. Identificaram-se ainda ultrapassagens médias de demanda de 51,20 kW no período Fora Ponta e 30,27 kW no período na Ponta. Em relação à energia reativa excedente, os valores médios registrados foram de 23.006,67 kvarh e 1.124,20 kvarh, respectivamente.

No que se refere às faturas do Campus Central do 1º trimestre, a média encontrada foi de R\$ 1.149.510,66, com desvio de R\$ 160.943,06, sendo os valores máximo e mínimo correspondentes a R\$ 1.290.494,44 e R\$ 999.969,76, respectivamente. O montante total acumulado no período analisado, nos 9 primeiros meses de 2024, foi de R\$10.345.595,91. Em termos de representatividade, destaca-se que o Consumo Fora Ponta respondeu por 63,82% do custo total, seguido pela Demanda na Ponta (14,11%), Consumo na Ponta (11,12%) e Demanda Fora Ponta (9,84%). Embora apresentem impacto percentual reduzido, componentes como ultrapassagem de demanda (0,31%) e energia reativa excedente (0,80%) devem ser monitorados, dado o seu potencial de acréscimo ao custo total.

A análise contratual de demanda revelou inconsistências entre os valores contratados e as maiores utilizações registradas. No horário de ponta, a maior utilização foi de 5.342,40 kW, valor superior à demanda contratada de 5.070 kW, configurando déficit de 5,10%. Já no horário fora ponta, a demanda contratada foi de 6.780 kW e a maior utilização observada foi de 7.240,80 kW, o que corresponde a um déficit de 6,80%. Essas discrepâncias sugerem a necessidade de readequação contratual, a fim de alinhar os limites estabelecidos com o perfil real de utilização da unidade e evitar o pagamento de valores mais caros por demanda ativa em determinados períodos. A partir de uma simulação de reajuste contratual, considerando as demandas médias ajustadas para 4.970 kW (horário de ponta) e 6.680 kW (horário fora ponta), projetou-se uma economia anual de R\$ 61.926,99, equivalente a uma redução de 0,6% em relação ao gasto anual atual. Destaca-se que esta estimativa contempla apenas a tarifa de demanda (R\$/kW), não incorporando eventuais cobranças adicionais por ultrapassagens. Além disso, essa simulação abrange valores médios de demanda ativa utilizados, sendo necessário para aumentar a economia desse valor, o dimensionamento mensal da demanda a ser contratada, considerando os valores máximos que podem ser atingidos como mencionado anteriormente.

Os resultados qualitativos alcançados ao longo do projeto são refletidos para os integrantes do GEEE, destacando-se entre eles o desenvolvimento de competências em liderança entre os membros, como já foi mencionado, que assumiram responsabilidades variadas em suas respectivas frentes de estudo. Tal crescimento só foi possibilitado graças ao ambiente de cooperação e reciprocidade entre os integrantes criado pelo grupo, que fortalece os vínculos interpessoais e contribui para o alinhamento das ações em prol dos objetivos comuns do projeto. O aprimoramento de habilidades técnicas e científicas dos participantes, por meio de capacitações específicas e pela regularidade das atividades realizadas é algo intrínseco ao projeto e atualmente vem sendo impulsionado pelas parcerias institucionais.

O projeto também impactou positivamente o Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN ao melhorar as taxas de retenção e adesão de membros, evidenciando o progresso da parceria institucional com a Reitoria da UFRN. Entre os voluntários envolvidos desde o início do projeto, a desistência foi mínima, com apenas um registro, e dois terços dos integrantes mantiveram-se no projeto até dezembro de 2024. No início do ano de 2025, houve uma redução de membros devido às oportunidades de estágio no mercado de trabalho, onde a quantidade atual é de 4 integrantes. No entanto, recentemente foi traçado um plano para a retenção de novos voluntários ao projeto, o qual ocorrerá por meio de um evento promovido pelo Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN em conjunto com outras entidades da UFRN, sobre a utilização de Inteligência Artificial e da linguagem de programação Python para análise de dados.

Outro ponto de destaque é o potencial de escalabilidade do modelo de projeto desenvolvido. Por serem as metodologias e objetivos do GEEE - IEEE PES UFRN adaptáveis a diferentes contextos, isso possibilita o potencial de posicionar os Capítulos Estudantis IEEE PES e também outras Universidades do território nacional como referências em iniciativas de eficiência energética e sustentabilidade. Esse fator é capaz de contribuir para o cultivo de boas relações institucionais a nível regional entre instituições de ensino. Outrossim, a conquista de um espaço físico para o Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN, no Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), a qual foi fruto do trabalho desempenhado pelo GEEE, evidencia ainda mais a relação de cooperação entre o Capítulo Estudantil e a Reitoria da Instituição. Diante disso, a antiga sala da CICE (Figura 28) foi reestruturada para oferecer um ambiente adequado para o desenvolvimento das atividades do projeto.

Além do mais, o projeto foi reconhecido nacionalmente pelo Conselho do IEEE Brasil, o qual foi submetido à concorrência no concurso de Casos de Sucessos (IEEE Brazil Council SAC Awards 2025), na categoria de Atividades Técnicas. Após a submissão inicial do documento contendo as informações necessárias, o trabalho foi classificado entre os 3 finalistas, sendo a segunda etapa de avaliação a apresentação presencial do projeto na XXII Reunião Nacional de Ramos Estudantis e XIII Reunião Nacional de Jovens Profissionais do IEEE Brasil (IEEE RNR & RNYP Brasil) que ocorreu em Juiz de Fora/MG. Dessa forma, o projeto foi apresentado e, com muito reconhecimento, premiado em 1º lugar na categoria pelo Conselho do IEEE Brasil, evidenciando o potencial de impacto positivo e escalabilidade a nível nacional.

Por fim, as bolsas de iniciação tecnológica obtidas por meio do projeto foram fundamentais para a atração e o engajamento dos membros. Esses auxílios permitiram que dois bolsistas pudessem direcionar seus esforços exclusivamente às ações do GEEE - IEEE PES UFRN, resultando na ocupação, por parte dos novos membros, em cargos de liderança no IEEE PES UFRN em 2025. Com esses resultados, o GEEE reafirma sua relevância como uma iniciativa transformadora, que não apenas promove a eficiência energética, mas também fortalece a atuação do Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN em cooperação com a Reitoria da UFRN.

Conclusão

O Grupo de Estudos em Energia Elétrica (GEEE) do Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN consolidou-se como uma iniciativa transformadora em cooperação com a Reitoria da UFRN. Entre os resultados alcançados, destacam-se o pré-lançamento do Painel de Monitoramento Energético da UFRN, a capacitação técnica e o desenvolvimento de habilidades de liderança dos membros, a criação de um espaço físico para o Capítulo Estudantil e a obtenção de bolsas de iniciação tecnológica, que ampliaram o engajamento e a retenção de voluntários. O projeto também retomou e expandiu as atividades da antiga Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE), propondo novas frentes de estudo, como a migração ao MLE e a análise de consumo de energia ativa e reativa.

Ademais, o GEEE - IEEE PES UFRN promoveu uma atuação dos membros orientada por valores como responsabilidade social, protagonismo de liderança estudantil e contribuição intelectual efetiva para a comunidade universitária. A priorização da geração de valor para a instituição, por meio de soluções tecnológicas inovadoras e sustentáveis, auxiliou em uma transformação no modo como os estudantes atuam e conduzem projetos técnicos dentro do ambiente acadêmico. Tal abordagem reforça o compromisso do Capítulo Estudantil, como também da UFRN, em consolidar uma cultura de inovação com o potencial de replicabilidade em outras universidades.

Para aprimorar futuras atividades, será necessário ampliar a divulgação do projeto e buscar novas parcerias e fontes de financiamento, para assegurar a continuidade e a expansão das pesquisas e estudos. Entre as principais metas para 2025 estão a definição de um escopo técnico de edital para a migração para o MLE, divulgação plena da plataforma de dados sobre o consumo energético da Universidade, a qual já está em processo de pré-lançamento, e implementação de medidas de redução de custos com energia propostas pelo grupo, incluindo a instalação do banco de capacitores para tornar mais eficiente o sistema elétrico de distribuição do Campus Central.

Por fim, o potencial do projeto em contribuir para a disseminação de práticas de eficiência energética e sustentabilidade no Brasil, reforça a relevância do trabalho como referência nacional e amplia a visibilidade tanto do Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN, quanto da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), sendo importante para consolidar o papel social e excelência em educação da Instituição no país. Outrossim, o projeto está atrelado a missão

global do IEEE, que consiste em “*promover a inovação tecnológica e a excelência para o benefício e avanço da humanidade*”.

Referências

- [1] **Tribuna do Norte**, “UFRN pode encerrar 2024 com déficit de até R\$ 20 milhões”, 2024 [Online]. Disponível em: <https://tribunadonorte.com.br/natal/ufrn-pode-encerrar-2024-com-deficit-de-ate-r-20-milhoes/>. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [2] **UFRN**, “Distribuição Interna do Orçamento 2024”, 2024 [Online]. Disponível em: https://proplan.ufrn.br/pagina.php?alias=o_distr_int_orc. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [3] **Gov.br**, “D10.779”, 2021 [Online]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/d10779.htm. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [4] **ENGIE - Além da Energia**, “A importância da inteligência de dados no consumo de energia da sua empresa”, 2024 [Online]. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/solucoes/inteligencia-de-dados-no-consumo-de-energia/>. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [5] **G. Bulhões - UOL Economia**, “Mercado livre de energia: como funciona e o que muda em 2024”, 2023 [Online]. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2023/10/27/mercado-livre-de-energia-como-funciona-e-o-que-muda-em-2024.htm>. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [6] **H. Mattede - Mundo da Elétrica**, “Correção do fator de potência – O que é e como fazer!”, 2023 [Online]. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/correcao-do-fator-de-potencia-o-que-e-como-fazer/>. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [7] **ANEEL**, “Anexo VII da Resolução Normativa Aneel nº 956, de 7 de dezembro de 2021 - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição”, 2021 [Online]. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_6.pdf. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [8] **SEBRAE**, “Benchmarking: o que é e como fazer - Sebrae”, 2022 [Online]. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/benchmarking-o-que-e-e-como-fazer,a4227ca23e9c4810VgnVCM100000d701210aRCRD>. [Acessado : 20 de agosto de 2025].
- [9] **CNN**, “Entenda como funciona e quando usar a metodologia Scrum”, 2023 [Online]. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/scrum/>. [Acessado : 20 de agosto de 2025].
- [10] **Meta Open Source**, “PROPHET: Forecasting at scale”, 2023 [Online]. Disponível em: <https://facebook.github.io/prophet/>. [Acessado : 20 de agosto de 2025].

Anexos



Figura 1 - Reunião com o Dr. José Daniel Diniz Melo, reitor da UFRN, sobre a apresentação do GEEE - IEEE PES UFRN.



Figura 2 - Diagrama organizacional das principais atividades desenvolvidas pelo GEEE - IEEE PES UFRN.



Figura 3 - Exemplificação: Plataforma de controle de demandas dos integrantes do GEEE - IEEE PES UFRN.



Figura 4 - Página de visão geral do BI interno utilizado para estudos.



Figura 5 - Página de análise de perdas do BI interno utilizado para estudos.



Figura 6 - Página de projeções futuras do BI interno utilizado para estudos.



Figura 7 - Página inicial do Painel de Monitoramento Energético da UFRN (BI externo).



Figura 8 - Página de visão geral do Painel de Monitoramento Energético da UFRN (BI externo).



Figura 9 - Página com os dados das faturas das UC's do Painel de Monitoramento Energético da UFRN (BI externo).



Figura 10 - Página com projeções de economia do Painel de Monitoramento Energético da UFRN (BI externo).



Figura 11 - Página do glossário, com informações técnicas, do Painel de Monitoramento Energético da UFRN (BI externo).



Figura 12 - Reunião de apresentação do Painel de Monitoramento Energético da UFRN junto a INFRÁ e a Diretoria de Contabilidade e Finanças da Pró-Reitoria de Administração da UFRN.



Figura 13 - Protótipo do código, em Python, de previsão dos parâmetros e valores das faturas. Simulação de previsão do Consumo Fora Ponta, em kWh, até dezembro de 2030.



Figura 14 - Protótipo do código, em Python, de previsão dos parâmetros e valores das faturas. Simulação de previsão do Consumo na Ponta, em kWh, até dezembro de 2030.



Figura 15 - Exemplificação: proposta de migração do Campus Central - UFRN para o MLE.



Figura 16 - Exemplificação: Gastos com consumo e demanda para os primeiros nove meses de 2024 do Campus Central da UFRN.



Figura 17 - Exemplificação: Consumo do Campus Central, em kWh, de 01 de Janeiro até 31 de Março de 2024.



Figura 18 - Exemplificação: Consumo médio por dia, em kWh, do 1º trimestre de 2024 do Campus Central.



Figura 19 - Exemplificação: Média do FP (L) do Campus Central, por hora, de 01 de janeiro até 31 de março de 2024.



Figura 20 - Exemplificação: Consumo Reativo Excedente do 1º trimestre de 2024 do Campus Central.



Figura 21 - Exemplificação: Simulação com o banco máximo de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 22 - Exemplificação: Simulação com o banco médio de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 23 - Exemplificação: Simulação com o banco desejado de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 24 - Exemplificação: Teste de adequação com o banco máximo de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 25 - Exemplificação: Teste de adequação com o banco médio de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 26 - Exemplificação: Teste de adequação com o banco desejado de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 27 - Exemplificação: Painel de Estatísticas dos principais parâmetros de cobrança das faturas do Campus Central da UFRN, contendo os primeiros nove meses de 2024.



Figura 28 - Sala do Capítulo Estudantil IEE PES UFRN localizada no Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) na UFRN - antiga sala da CICE.

CÓDIGO: ET1782

AUTOR: JANAINA DA CRUZ CARVALHO

COAUTOR: VITOR PAIVA MEDEIROS DA CUNHA

ORIENTADOR: JOSE LUIZ DA SILVA JUNIOR

TÍTULO: Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas para a Melhoria da Eficiência Energética e Redução de Custos com Energia Elétrica na UFRN, incluindo o estudo de Migração para o Mercado Livre de Energia.

Resumo

Diante da vulnerabilidade financeira enfrentada pelas universidades públicas brasileiras nos últimos anos, o Capítulo Estudantil PES UFRN, pertencente ao Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), em conjunto com o professor José Luiz da Silva Júnior do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), criou o Grupo de Estudos em Energia Elétrica (GEEE). A fim de desenvolver estratégias que reduzissem os custos energéticos da Universidade, que, em 2024, acumularam quase 15% dos custos totais, o grupo de estudos retomou e ampliou as atividades anteriormente conduzidas pela extinta Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE). A metodologia envolveu a capacitação dos integrantes, análise de dados energéticos e estudos sobre migração para o mercado livre de energia e sobre redução de consumos ativo e reativo. O uso de ferramentas tecnológicas, como a linguagem de programação Python e a plataforma de Business Intelligence Power BI, viabilizaram a criação de sistemas de gestão de dados e dashboards detalhados, fomentando a transparência e eficiência na gestão energética. Sendo o grupo estruturado de maneira a permitir sua replicabilidade por grupos de estudos em outras universidades, os primeiros resultados incluem o restabelecimento do Painel de Monitoramento Energético da universidade, a definição de propostas de migração para o Mercado Livre de Energia (MLE), o levantamento de medidas práticas para reduzir custos e a capacitação técnica dos membros do grupo.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Redução de Custos. Gestão de Energia Elétrica.

TITLE: Development of Technological Solutions for Improving Energy Efficiency and Reducing Electricity Costs at UFRN, including a study on Migration to the Free Energy Market.

Abstract

In light of the financial vulnerability faced by Brazilian public universities in recent years, the PES UFRN Student Chapter, belonging to the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), together with Professor José Luiz da Silva Júnior from the Department of Electrical Engineering (DEE), created the Electric Energy Study Group (GEEE). In order to develop strategies to reduce the University's energy costs, which in 2024 accounted for 15% of total costs, the study group resumed and expanded the activities previously conducted by the now defunct Internal Energy Conservation Commission (CICE). The methodology involved training members, analyzing energy data, and conducting studies on migration to the free energy market and on reducing active and reactive consumption. The use of technological tools, such as the Python programming language and the Power BI Business Intelligence platform, enabled the creation of data management systems and detailed dashboards, promoting transparency and efficiency in energy management. As the group is structured in such a way as to allow its replication by study groups at other universities, the first results include the reestablishment of the university's Energy Monitoring Panel, the definition of proposals for migration to the Free Energy Market (MLE), the survey of practical measures to reduce costs, and the technical training of group members.

Keywords: Energy Efficiency. Cost Reduction. Electrical Energy Management.

Introdução

Historicamente, as universidades públicas brasileiras apresentam vulnerabilidade financeira devido aos cortes orçamentários, o que gera defasagem na infraestrutura e nas oportunidades de ensino, pesquisa e extensão para a comunidade acadêmica. No caso da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), em 2024 houve uma redução orçamentária de 7,69% em relação ao ano anterior, podendo resultar em déficit de até 20 milhões de reais na transição para 2025 [1]. Além disso, os gastos energéticos da UFRN corresponderam, em 2024, a aproximadamente 15% de todo o orçamento da Instituição [2].

Frente a isso, no início de 2024, após um mapeamento realizado pela diretoria do Capítulo Estudantil Power and Energy Society do Ramo IEEE da Universidade (IEEE PES UFRN) sobre o interesse de novos membros na linha de pesquisa de soluções de eficiência energética e redução de custos, ocorreu a mobilização para a criação do Grupo de Estudos em Energia Elétrica (GEEE). Formado por membros voluntários do IEEE PES UFRN, o grupo contou inicialmente com 9 estudantes de engenharia,

orientados por um professor, com o objetivo de definir medidas estratégicas que impactassem positivamente as despesas de energia da UFRN. Outrossim, o GEEE também teve como objetivo a retomada das atividades antes conduzidas pela extinta Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE) da UFRN, que era um programa do Governo Federal regido pelo Decreto nº 10.779/2021 [3].

A partir disso, o vice-presidente do IEEE PES UFRN em 2024 e ex-integrante da extinta CICE, Vitor Paiva, liderou as primeiras ações do projeto, com o apoio do professor Dr. José Luiz da Silva Júnior, do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), que era o principal responsável pela antiga CICE. Nas reuniões iniciais de planejamento, foram definidos três eixos principais de estudo e pesquisa: gerenciamento e transparência dos dados de consumo energético das Unidades Consumidoras (UCs) da UFRN, estudo de migração da UFRN para o Mercado Livre de Energia (MLE) e análise contínua de formas de otimização do consumo de energia ativa e reativa no Campus Central.

O primeiro eixo tratou da reestruturação de um sistema de gestão do histórico de consumo energético das UCs, possibilitando a centralização de informações, tomadas de decisões estratégicas mais embasadas e identificação do perfil de consumo de cada UC [4]. Tal sistema era mantido no passado pela CICE, mas estava desatualizado e necessitava de manutenção nas plataformas de Business Intelligence (BI), no código de extração das informações das faturas e nas bases de dados.

O segundo eixo de pesquisa envolve o estudo da viabilidade de migração da UFRN para o MLE, visando a negociação de contratos mais vantajosos em termos financeiros, onde o preço da energia contratada é livremente negociado entre o contratante e a comercializadora de energia, que pode estar localizada em qualquer parte do território nacional [5].

Por conseguinte, o terceiro eixo tem como foco a análise de possibilidades de redução de custos relacionados às grandezas ativas e reativas das UCs, por meio de medidas de otimização do consumo e Correção do Fator de Potência (CFP), resultando em um uso mais eficiente da energia elétrica [6] e evitando penalidades financeiras previstas na resolução normativa nº 956, de 7 de dezembro de 2021, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [7].

Por fim, após o planejamento preliminar, ocorreu a reunião (Figura 1) com o reitor da UFRN, Dr. José Daniel Diniz Melo, representando um marco de cooperação institucional entre o Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN e a Reitoria. Nesse momento, firmaram-se os compromissos do GEEE - IEEE PES UFRN com a Instituição: analisar alternativas de redução do consumo e dos custos de energia da Universidade; apoiar nas decisões e avaliações ligadas à matriz energética; e consolidar tanto a Universidade quanto o IEEE PES UFRN como referências no cenário sustentável e institucional a nível nacional.

Metodologia

A sistematização aplicada para desenvolver as atividades do projeto iniciou com as capacitações dos integrantes sobre os principais conceitos teóricos e o uso das plataformas de tratamento e análise de dados. Esses treinamentos foram ministrados por membros já com conhecimento aprofundado nas frentes de estudo: Vitor Paiva, Vinicius Carvalho e Rafael Gomes, sendo eles acadêmicos de Engenharia Elétrica. Após o período de qualificação, as atividades foram divididas de acordo com a afinidade de cada membro. Além disso, para acompanhamento realizavam-se reuniões semanais e que, atualmente, são quinzenais, junto ao professor orientador Dr. José Luiz da Silva Júnior, nas quais são discutidos avanços e dificuldades das demandas de cada integrante. Ao aplicar tais rotinas, os três eixos de pesquisa do GEEE foram operacionalizados da seguinte forma:

Gestão e transparência de dados: nesse primeiro eixo, o processo inicia com a coleta dos dados mais importantes das faturas de energia das UCs, as quais são disponibilizadas em arquivos padrão da concessionária de energia, em pdf, pela Superintendência de Infraestrutura da UFRN (INFRA), compartilhadas em uma pasta via Google Drive com o GEEE - IEEE PES UFRN. Essa coleta ocorre por meio de um código extrator, desenvolvido na linguagem de programação Python por membros da antiga CICE, o qual foi remodelado para atender aos novos padrões das faturas da COSERN e implementadas melhorias de extração, pelos membros do GEEE. Em sequência, esses dados são exportados em formato .csv e posteriormente tratados em uma planilha que organiza e filtra as principais informações. Após esse tratamento inicial, os dados são integrados a um banco de dados que reúne informações de todas as UCs da UFRN desde o ano de 2017. Neste banco, são realizados cálculos e implementações de parâmetros importantes para obter uma análise inicial do perfil de consumo de cada Unidade Consumidora (UC). Por fim, os dados mais relevantes, como consumo ativo total, valores totais das faturas, demanda ativa total, entre outros, são utilizados para alimentar os dashboards na plataforma de BI, ou seja, o Painel de Monitoramento Energético da UFRN. Estes apresentam análises detalhadas para uso interno, com o fito de estudos e implementação de medidas, enquanto uma versão externa promove a transparência de informações junto à comunidade acadêmica.

Estudo de migração para o MLE: para esse eixo, a primeira etapa consiste no levantamento de propostas em contato com comercializadoras para avaliar a viabilidade financeira dessa migração. Simultaneamente, foi realizado um benchmarking – pesquisa comparativa entre empresas de um mesmo setor [8] –, a fim de identificar boas práticas e avaliar a burocracia dos processos. A etapa posterior é a análise do custo de adequação do Sistema de Medição e Faturamento (SMF). Nessa fase, são realizados contatos com a concessionária local, no caso, a Neoenergia COSERN, com o fito de identificar ajustes necessários e possíveis custos operacionais envolvidos na adequação do sistema. Essa última etapa é importante, pois o levantamento dos custos envolvidos na adequação do SMF auxilia no estudo de viabilidade das propostas apresentadas pelas empresas do MLE.

Redução de custos relativos às grandezas ativas e reativas da fatura de energia do Campus Central da UFRN: nesse eixo, o processo inicia com a coleta de dados, junto à INFRA, das memórias de massa dos medidores do Campus Central UFRN (arquivos com histórico de medições elétricas realizadas a cada 15 minutos). Posteriormente, os dados são distribuídos em três planilhas distintas: duas destas são destinadas à análise

do consumo ativo e da demanda contratada, considerando as tarifas aplicadas e identificando possíveis anomalias no perfil de consumo da Unidade Consumidora (UC). A terceira planilha é voltada para a análise do comportamento do fator de potência e o dimensionamento do banco de capacitores, com o objetivo de reduzir o consumo reativo excedente e evitar cobranças por penalidades na fatura de energia e fornecer um sistema elétrico de distribuição mais eficiente. Por fim, foi elaborado um relatório com as análises realizadas e as principais medidas propostas para reduzir os custos com energia elétrica e otimizar o uso eficiente desse recurso. Esse relatório está previsto para ser apresentado à INFRA até o final de 2025, com data ainda a ser definida, para que o órgão avalie a viabilidade de implementação das ações sugeridas. A Figura 2 apresenta um esquema organizacional das principais ações em cada frente de estudo do GEEE.

Durante a execução do projeto, alguns desafios específicos foram enfrentados e solucionados com estratégias preventivas e colaborativas, garantindo a eficiência e continuidade das atividades. Um dos desafios já previstos desde a concepção do grupo foi o desnivelamento técnico entre os voluntários, decorrente da diversidade de períodos acadêmicos. Para mitigar, os membros mais experientes ministraram capacitações em um ciclo de dois meses no início das atividades. Assim, ao promover o aprendizado colaborativo, a iniciativa nivelou a base de conhecimento dos membros e fortaleceu o engajamento coletivo.

Outro desafio foi o impacto de momentos intensos nos semestres, como trabalhos e avaliações, em paralelo com os prazos das demandas do projeto. Para enfrentar isso, foi implementada uma política de diálogo constante entre os membros e aplicação da metodologia Scrum [9]. Essa abordagem, com reuniões de alinhamento quinzenais e comunicação assíncrona diária, favoreceu a confiança e a compreensão mútua entre os integrantes. Por fim, para assegurar o acompanhamento efetivo das atividades, utilizou-se a plataforma de controle de demandas (Figura 3). Tal ferramenta permitiu o monitoramento do desempenho individual de cada integrante e forneceu insumos para discussões nas reuniões sobre progressos, dificuldades e próximos passos.

Resultados e Discussões

Com a aplicação das etapas descritas no processo metodológico, foram obtidos diversos resultados que possibilitaram o avanço técnico e científico do projeto e o aprimoramento intelectual de cada membro do GEEE. Inicialmente, o protagonismo do Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN ao longo de 2024 esteve diretamente associado à consolidação do GEEE, sendo o principal meio de engajamento contínuo e sustentável dos membros do Capítulo. Além disso, o GEEE se destacou como uma ferramenta de formação de lideranças e valorização de talentos dentro do Capítulo, possibilitando o desenvolvimento de líderes que atualmente ocupam os cargos de presidente, vice-presidente e tesoureiro do IEEE PES UFRN, sendo eles Janaina Carvalho, Sofia Galvão e Luan Pereira, respectivamente. Logo, os resultados técnicos obtidos ao longo do período foram reflexo direto da organização estrutural do GEEE, cuja atuação ocorreu devido ao ambiente motivador e comprometido com o desenvolvimento pessoal e profissional de seus membros proporcionado pelo IEEE PES UFRN.

Entre os principais desdobramentos técnicos viabilizados por essa estrutura colaborativa, destaca-se o processo de coleta e tratamento dos dados das faturas de todas as UCs, que possibilitou a reativação e manutenção das plataformas de BI, tanto interna, conforme as Figuras 4, 5 e 6, para o gerenciamento das principais informações analíticas, quanto externa, de acordo com as Figuras 7, 8, 9, 10 e 11, com a finalidade de manter a transparência de informações para a comunidade acadêmica. Além disso, em março de 2025, foi realizada uma reunião de apresentação do Painel de Monitoramento Energético da UFRN (Figura 12) ao Superintendente da INFRA, professor Dr. Luiz Pedro de Araújo, ao Coordenador de Gestão dos Sistemas Elétricos - INFRA João Maria Vital de Paiva e ao Diretor de Contabilidade e Finanças da Pró-Reitoria de Administração da UFRN, Daniel Bessa de Menezes. O encontro destacou os resultados significativos alcançados pelo projeto GEEE – IEEE PES UFRN em relação a plataforma de BI, resultando no pré-lançamento do sistema. Logo, após a realização de alguns ajustes finais, a expectativa é de que a divulgação oficial aconteça ainda em 2025 para toda a comunidade acadêmica, consolidando mais um passo rumo à transparência de dados, eficiência energética e inovação tecnológica na UFRN.

A partir da Reunião de apresentação do Painel de Monitoramento Energético da UFRN, foram realizadas algumas sugestões pelo Superintendente da INFRA e pelo Coordenador de Gestão dos Sistemas Elétricos, sendo a sugestão principal de inserir, na plataforma de BI externo, uma aba de previsão estimada dos principais parâmetros das UCs, incluindo a previsão de valores a serem pagos nos próximos anos. Diante disso, foi desenvolvido um código por membros do GEEE, em linguagem Python, com aplicação do algoritmo de previsão de séries temporais desenvolvido pelo Facebook (atualmente Meta) denominado de Prophet [10]. Esse algoritmo foi modelado para corresponder ao formato do banco de dados das UCs da UFRN e, após algumas adaptações, foi possível realizar previsões de até 5 anos dos possíveis cenários de consumo, demanda e seus respectivos valores das unidades. As Figuras 13 e 14 ilustram um protótipo das previsões obtidas com o código, incluindo as sazonalidades em determinados períodos (recesso acadêmico, feriados, finais de semana, etc.). Além disso, o código também gera os dados previstos em arquivo .csv, os quais são utilizados para alimentar o banco de dados geral e integrar o Painel de Monitoramento Energético da UFRN, onde tal processo de integração está em fase final de implementação.

Por conseguinte, o estudo de viabilidade da migração da UFRN para o MLE permitiu o levantamento de algumas informações importantes. A priori, a sondagem de propostas com comercializadoras locais e também de outros estados do país ocorreu a partir do contato com os principais empreendimentos do setor. Após esse contato inicial, foram realizadas reuniões de forma remota com três companhias distintas selecionadas previamente para a apresentação e discussão de planos de migração. Um esboço de uma dessas propostas discutidas pode ser observado na Figura 15. Atualmente, esses projetos encontram-se sob análise comparativa de viabilidade, em questão de cenários de custo financeiro, e avaliação burocrática de documentação para definir qual o melhor caminho a ser seguido. Em sequência, a aplicação do benchmarking retornou um caso de sucesso ocorrido na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 2002, sendo a primeira universidade pública brasileira a aderir ao MLE. Diante disso, foi realizado um estudo detalhado acerca do processo burocrático que a UNICAMP enfrentou para adentrar nesse setor, com o objetivo de reaplicar parte das medidas implementadas e organizar os documentos contratuais junto a esfera governamental. No momento atual,

esses documentos estão em fase de elaboração e acertos de detalhes jurídicos para serem apresentados à Reitoria da UFRN.

Em relação à análise contínua do consumo ativo e das demandas contratadas do Campus Central da UFRN, foram analisados os dados que compreendem os meses de janeiro de 2024 a março de 2025. Com isso, diversos métodos de análise foram implementados pelas plataformas de tratamento de dados, resultando no levantamento de pontos importantes do perfil de consumo e gastos com energia da Universidade, como na Figura 16, que apresenta os gastos monetários, em reais, com consumo e demanda do Campus Central considerando o período de janeiro a setembro de 2024, por exemplo. O gráfico da Figura 16 foi utilizado para compreender o comportamento dos gastos no decorrer de cada mês, com diminuição em meses como janeiro, fevereiro, junho e dezembro, que compreendem geralmente os períodos de recessos acadêmicos. Além disso, tal gráfico auxilia na identificação dos principais parâmetros que influenciam nos gastos, como o consumo fora ponta predominantemente. Outrossim, as Figuras 17 e 18 exemplificam o comportamento do perfil consumo do Campus Central no primeiro trimestre de 2024, evidenciando os dias com maiores atividades que demandam a utilização de energia elétrica. Logo, com a identificação desse perfil de gastos e consumo, foi possível propor medidas, em relatório, que auxiliassem na diminuição de consumo fora ponta, principalmente, no horário determinado pela ANEEL, que compreende o intervalo das 00h00min às 17h59min e das 21h00min às 23h59min de cada dia.

A coleta e o tratamento dos dados obtidos com as memórias de massa dos medidores do Campus possibilitaram a avaliação comportamental do fator de potência da unidade. Essa análise demonstrou que o fator está operando abaixo do ideal de acordo com a Resolução Normativa nº 956 da ANEEL [7], que julga como valor ideal igual ou superior a 0.92, sendo o fator de potência médio do Campus Central de 0.88, conforme exemplificado na Figura 19, ou seja, o sistema elétrico de distribuição do Campus Central não está operando de forma eficiente, sendo necessário realizar a correção desse fator para a melhoria de desempenho.

Além disso, o baixo fator de potência de uma unidade acarreta em penalidades financeiras com tarifas elevadas aplicadas pela concessionária, sendo o valor médio cobrado ao Campus Central, somente, em torno de R\$10.000,00 por mês, de acordo com a exemplificação da Figura 20. Com vistas a isso, uma das principais soluções encontradas para sanar esse problema consiste na instalação de um banco de capacitores, para “equilibrar” a parte indutiva injetada na rede, em paralelo com a rede geral de distribuição. Assim, foram realizados os dimensionamentos de um banco de capacitores máximo, médio e desejado a partir de uma planilha de tratamento de dados, conforme as Figuras 21, 22 e 23, respectivamente. Em geral, essa projeção permitiu entender o tamanho do banco de capacitores a ser instalado, que gira em torno de um banco com capacidade de 275kvarC, aproximadamente, e tal processo encontra-se em fase de estudo de mercado para o levantamento dos valores desses equipamentos.

Ainda considerando o levantamento do fator de potência médio do Campus Central, no geral, sem investigar cada edifício, foi avaliado também a adequação ao sistema de distribuição do banco de capacitores dimensionado, que atingiu um valor de aproximadamente 78,82% de atendimento. Esse percentual impacta na redução de até

95% do valor pago por penalidades devido ao baixo fator de potência, reduzindo um valor anual de aproximadamente R\$120.000,00 para aproximadamente R\$6.000,00 pago por consumo reativo excedente. Tal cenário simula a grande redução monetária que pode ocorrer com a instalação de um banco de capacitores, conforme os testes de adequação de um banco máximo, médio e desejado das Figuras 24, 25 e 26, respectivamente, o que necessita de um investimento inicial para ser aplicado, sendo esse o principal impasse no momento. Em seguida, com a análise do perfil de demanda ativa das unidades, foi realizado um levantamento que registrou a necessidade da diminuição de demanda ativa contratada ou mudança de grupo tarifário de 17 unidades. Logo, esse estudo mostra um meio de redução dos valores pagos por demanda ativa contratada, podendo reduzir em até 10% do valor total das faturas de todas as UCs.

Por conseguinte, a análise estatística dos dados de consumo e demanda elétrica, apresentada na Figura 27, possibilitou a identificação de padrões relevantes para o gerenciamento energético da unidade Campus Central. Diante disso, observou-se que o consumo ativo no horário de ponta, que compreende o intervalo das 18h00min a 20h59min, apresentou uma média de 195.197 kWh, com desvio padrão de 39.803 kWh, resultando em um coeficiente de variação de 20% compreendendo os primeiros 9 meses de 2024. Esses resultados evidenciam uma variabilidade considerável ao longo do período analisado, com valores mínimos e máximos de 153.077 kWh e 251.580 kWh, respectivamente. Ao se considerar o comportamento médio do 1º, 2º e 3º trimestres, destacam-se valores significativos: Consumo Fora Ponta de 1.740.293,33 kWh, Consumo na Ponta de 195.197,33 kWh, Demanda Fora Ponta de 5.659,73 kW e Demanda na Ponta de 4.084,27 kW. Identificaram-se ainda ultrapassagens médias de demanda de 51,20 kW no período Fora Ponta e 30,27 kW no período na Ponta. Em relação à energia reativa excedente, os valores médios registrados foram de 23.006,67 kvarh e 1.124,20 kvarh, respectivamente.

No que se refere às faturas do Campus Central do 1º trimestre, a média encontrada foi de R\$ 1.149.510,66, com desvio de R\$ 160.943,06, sendo os valores máximo e mínimo correspondentes a R\$ 1.290.494,44 e R\$ 999.969,76, respectivamente. O montante total acumulado no período analisado, nos 9 primeiros meses de 2024, foi de R\$10.345.595,91. Em termos de representatividade, destaca-se que o Consumo Fora Ponta respondeu por 63,82% do custo total, seguido pela Demanda na Ponta (14,11%), Consumo na Ponta (11,12%) e Demanda Fora Ponta (9,84%). Embora apresentem impacto percentual reduzido, componentes como ultrapassagem de demanda (0,31%) e energia reativa excedente (0,80%) devem ser monitorados, dado o seu potencial de acréscimo ao custo total.

A análise contratual de demanda revelou inconsistências entre os valores contratados e as maiores utilizações registradas. No horário de ponta, a maior utilização foi de 5.342,40 kW, valor superior à demanda contratada de 5.070 kW, configurando déficit de 5,10%. Já no horário fora ponta, a demanda contratada foi de 6.780 kW e a maior utilização observada foi de 7.240,80 kW, o que corresponde a um déficit de 6,80%. Essas discrepâncias sugerem a necessidade de readequação contratual, a fim de alinhar os limites estabelecidos com o perfil real de utilização da unidade e evitar o pagamento de valores mais caros por demanda ativa em determinados períodos. A partir de uma simulação de reajuste contratual, considerando as demandas médias ajustadas para 4.970 kW (horário de ponta) e 6.680 kW (horário fora ponta), projetou-se uma

economia anual de R\$ 61.926,99, equivalente a uma redução de 0,6% em relação ao gasto anual atual. Destaca-se que esta estimativa contempla apenas a tarifa de demanda (R\$/kW), não incorporando eventuais cobranças adicionais por ultrapassagens. Além disso, essa simulação abrange valores médios de demanda ativa utilizados, sendo necessário para aumentar a economia desse valor, o dimensionamento mensal da demanda a ser contratada, considerando os valores máximos que podem ser atingidos como mencionado anteriormente.

Os resultados qualitativos alcançados ao longo do projeto são refletidos para os integrantes do GEEE, destacando-se entre eles o desenvolvimento de competências em liderança entre os membros, como já foi mencionado, que assumiram responsabilidades variadas em suas respectivas frentes de estudo. Tal crescimento só foi possibilitado graças ao ambiente de cooperação e reciprocidade entre os integrantes criado pelo grupo, que fortalece os vínculos interpessoais e contribui para o alinhamento das ações em prol dos objetivos comuns do projeto. O aprimoramento de habilidades técnicas e científicas dos participantes, por meio de capacitações específicas e pela regularidade das atividades realizadas é algo intrínseco ao projeto e atualmente vem sendo impulsionado pelas parcerias institucionais.

O projeto também impactou positivamente o Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN ao melhorar as taxas de retenção e adesão de membros, evidenciando o progresso da parceria institucional com a Reitoria da UFRN. Entre os voluntários envolvidos desde o início do projeto, a desistência foi mínima, com apenas um registro, e dois terços dos integrantes mantiveram-se no projeto até dezembro de 2024. No início do ano de 2025, houve uma redução de membros devido às oportunidades de estágio no mercado de trabalho, onde a quantidade atual é de 4 integrantes. No entanto, recentemente foi traçado um plano para a retenção de novos voluntários ao projeto, o qual ocorrerá por meio de um evento promovido pelo Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN em conjunto com outras entidades da UFRN, sobre a utilização de Inteligência Artificial e da linguagem de programação Python para análise de dados.

Outro ponto de destaque é o potencial de escalabilidade do modelo de projeto desenvolvido. Por serem as metodologias e objetivos do GEEE - IEEE PES UFRN adaptáveis a diferentes contextos, isso possibilita o potencial de posicionar os Capítulos Estudantis IEEE PES e também outras Universidades do território nacional como referências em iniciativas de eficiência energética e sustentabilidade. Esse fator é capaz de contribuir para o cultivo de boas relações institucionais a nível regional entre instituições de ensino. Outrossim, a conquista de um espaço físico para o Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN, no Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), a qual foi fruto do trabalho desempenhado pelo GEEE, evidencia ainda mais a relação de cooperação entre o Capítulo Estudantil e a Reitoria da Instituição. Diante disso, a antiga sala da CICE (Figura 28) foi reestruturada para oferecer um ambiente adequado para o desenvolvimento das atividades do projeto.

Além do mais, o projeto foi reconhecido nacionalmente pelo Conselho do IEEE Brasil, o qual foi submetido à concorrência no concurso de Casos de Sucessos (IEEE Brazil Council SAC Awards 2025), na categoria de Atividades Técnicas. Após a submissão inicial do documento contendo as informações necessárias, o trabalho foi classificado entre os 3 finalistas, sendo a segunda etapa de avaliação a apresentação presencial do

projeto na XXII Reunião Nacional de Ramos Estudantis e XIII Reunião Nacional de Jovens Profissionais do IEEE Brasil (IEEE RNR & RNYP Brasil) que ocorreu em Juiz de Fora/MG. Dessa forma, o projeto foi apresentado e, com muito reconhecimento, premiado em 1º lugar na categoria pelo Conselho do IEEE Brasil, evidenciando o potencial de impacto positivo e escalabilidade a nível nacional.

Por fim, as bolsas de iniciação tecnológica obtidas por meio do projeto foram fundamentais para a atração e o engajamento dos membros. Esses auxílios permitiram que dois bolsistas pudessem direcionar seus esforços exclusivamente às ações do GEEE - IEEE PES UFRN, resultando na ocupação, por parte dos novos membros, em cargos de liderança no IEEE PES UFRN em 2025. Com esses resultados, o GEEE reafirma sua relevância como uma iniciativa transformadora, que não apenas promove a eficiência energética, mas também fortalece a atuação do Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN em cooperação com a Reitoria da UFRN.

Conclusão

O Grupo de Estudos em Energia Elétrica (GEEE) do Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN consolidou-se como uma iniciativa transformadora em cooperação com a Reitoria da UFRN. Entre os resultados alcançados, destacam-se o pré-lançamento do Painel de Monitoramento Energético da UFRN, a capacitação técnica e o desenvolvimento de habilidades de liderança dos membros, a criação de um espaço físico para o Capítulo Estudantil e a obtenção de bolsas de iniciação tecnológica, que ampliaram o engajamento e a retenção de voluntários. O projeto também retomou e expandiu as atividades da antiga Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE), propondo novas frentes de estudo, como a migração ao MLE e a análise de consumo de energia ativa e reativa.

Ademais, o GEEE - IEEE PES UFRN promoveu uma atuação dos membros orientada por valores como responsabilidade social, protagonismo de liderança estudantil e contribuição intelectual efetiva para a comunidade universitária. A priorização da geração de valor para a instituição, por meio de soluções tecnológicas inovadoras e sustentáveis, auxiliou em uma transformação no modo como os estudantes atuam e conduzem projetos técnicos dentro do ambiente acadêmico. Tal abordagem reforça o compromisso do Capítulo Estudantil, como também da UFRN, em consolidar uma cultura de inovação com o potencial de replicabilidade em outras universidades.

Para aprimorar futuras atividades, será necessário ampliar a divulgação do projeto e buscar novas parcerias e fontes de financiamento, para assegurar a continuidade e a expansão das pesquisas e estudos. Entre as principais metas para 2025 estão a definição de um escopo técnico de edital para a migração para o MLE, divulgação plena da plataforma de dados sobre o consumo energético da Universidade, a qual já está em processo de pré-lançamento, e implementação de medidas de redução de custos com energia propostas pelo grupo, incluindo a instalação do banco de capacitores para tornar mais eficiente o sistema elétrico de distribuição do Campus Central.

Por fim, o potencial do projeto em contribuir para a disseminação de práticas de eficiência energética e sustentabilidade no Brasil, reforça a relevância do trabalho como referência nacional e amplia a visibilidade tanto do Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN, quanto da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), sendo importante para consolidar o papel social e excelência em educação da Instituição no país. Outrossim, o projeto está atrelado a missão global do IEEE, que consiste em “promover a inovação tecnológica e a excelência para o benefício e avanço da humanidade”.

Referências

- [1] Tribuna do Norte, “UFRN pode encerrar 2024 com déficit de até R\$ 20 milhões”, 2024 [Online]. Disponível em: <https://tribunadonorte.com.br/natal/ufrn-pode-encerrar-2024-com-deficit-de-ate-r-20-milhoes/>. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [2] UFRN, “Distribuição Interna do Orçamento 2024”, 2024 [Online]. Disponível em: https://proplan.ufrn.br/pagina.php?alias=o_distr_int_orc. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [3] Gov.br, “D10.779”, 2021 [Online]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/d10779.htm. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [4] ENGIE - Além da Energia, “A importância da inteligência de dados no consumo de energia da sua empresa”, 2024 [Online]. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/solucoes/inteligencia-de-dados-no-consumo-de-energia/>. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [5] G. Bulhões - UOL Economia, “Mercado livre de energia: como funciona e o que muda em 2024”, 2023 [Online]. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2023/10/27/mercado-livre-de-energia-como-funciona-e-o-que-muda-em-2024.htm>. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [6] H. Mattede - Mundo da Elétrica, “Correção do fator de potência – O que é e como fazer!”, 2023 [Online]. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/correcao-do-fator-de-potencia-o-que-e-como-fazer/>. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [7] ANEEL, “Anexo VII da Resolução Normativa Aneel nº 956, de 7 de dezembro de 2021 - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição”, 2021 [Online]. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_6.pdf. [Acessado : 19 de agosto de 2025].
- [8] SEBRAE, “Benchmarking: o que é e como fazer - Sebrae”, 2022 [Online]. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/benchmarking-o-que-e->

e-como-fazer,a4227ca23e9c4810VgnVCM100000d701210aRCRD. [Acessado : 20 de agosto de 2025].

[9] CNN, “Entenda como funciona e quando usar a metodologia Scrum”, 2023 [Online]. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/scrum/>. [Acessado : 20 de agosto de 2025].

[10] Meta Open Source, “PROPHET: Forecasting at scale”, 2023 [Online]. Disponível em: <https://facebook.github.io/prophet/>. [Acessado : 20 de agosto de 2025].

Anexos



Figura 1 - Reunião com o Dr. José Daniel Diniz Melo, reitor da UFRN, sobre a apresentação do GEEE - IEEE PES UFRN.



Figura 2 - Diagrama organizacional das principais atividades desenvolvidas pelo GEEE - IEEE PES UFRN.



Figura 3 - Exemplificação: Plataforma de controle de demandas dos integrantes do GEEE - IEEE PES UFRN.



Figura 4 - Página de visão geral do BI interno utilizado para estudos.



Figura 5 - Página de análise de perdas do BI interno utilizado para estudos.



Figura 6 - Página de projeções futuras do BI interno utilizado para estudos.



Figura 7 - Página inicial do Painei de Monitoramento Energético da UFRN (BI externo).



Figura 8 - Página de visão geral do Painei de Monitoramento Energético da UFRN (BI externo).



Figura 9 - Página com os dados das faturas das UC's do Painei de Monitoramento Energético da UFRN (BI externo).



Figura 10 - Página com projeções de economia do Painei de Monitoramento Energético da UFRN (BI externo).



Figura 11 - Página do glossário, com informações técnicas, do Painei de Monitoramento Energético da UFRN (BI externo).



Figura 12 - Reunião de apresentação do Painei de Monitoramento Energético da UFRN junto a INFRA e a Diretoria de Contabilidade e Finanças da Pró-Reitoria de Administração da UFRN.



Figura 13 - Protótipo do código, em Python, de previsão dos parâmetros e valores das faturas. Simulação de previsão do Consumo Fora Ponta, em kWh, até dezembro de 2030.



Figura 14 - Protótipo do código, em Python, de previsão dos parâmetros e valores das faturas. Simulação de previsão do Consumo na Ponta, em kWh, até dezembro de 2030.



Figura 15 - Exemplificação: proposta de migração do Campus Central - UFRN para o MLE.



Figura 16 - Exemplificação: Gastos com consumo e demanda para os primeiros nove meses de 2024 do Campus Central da UFRN.



Figura 17 - Exemplificação: Consumo do Campus Central, em kWh, de 01 de Janeiro até 31 de Março de 2024.



Figura 18 - Exemplificação: Consumo médio por dia, em kWh, do 1º trimestre de 2024 do Campus Central.



Figura 19 - Exemplificação: Média do FP (L) do Campus Central, por hora, de 01 de janeiro até 31 de março de 2024.



Figura 20 - Exemplificação: Consumo Reativo Excedente do 1º trimestre de 2024 do Campus Central.



Figura 21 - Exemplificação: Simulação com o banco máximo de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 22 - Exemplificação: Simulação com o banco médio de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 23 - Exemplificação: Simulação com o banco desejado de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 24 - Exemplificação: Teste de adequação com o banco máximo de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 25 - Exemplificação: Teste de adequação com o banco médio de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 26 - Exemplificação: Teste de adequação com o banco desejado de capacitores para corrigir o Fator de Potência (FP) do Campus Central, referente ao primeiro trimestre de 2024.



Figura 27 - Exemplificação: Painel de Estatísticas dos principais parâmetros de cobrança das faturas do Campus Central da UFRN, contendo os primeiros nove meses de 2024.



Figura 28 - Sala do Capítulo Estudantil IEEE PES UFRN localizada no Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) na UFRN - antiga sala da CICE.

CÓDIGO: ET1796

AUTOR: GABRIEL ARTHUR OLIVEIRA DOS SANTOS

COAUTOR: RAFAEL CABRAL MELO

ORIENTADOR: LUIZ MARCOS GARCIA GONCALVES

TÍTULO: Relatório Final – Projeto RAP (Repositório de Robótica Educacional)

Resumo

O Projeto RAP (Repositório de Robótica Educacional) foi desenvolvido no Laboratório Natalnet da UFRN com o objetivo de centralizar e divulgar materiais relacionados à robótica educacional, reunindo planos de aula, metodologias, artigos, eventos e materiais didáticos. Estruturado em Django, o sistema busca democratizar o acesso a conteúdos dispersos em diferentes mídias, promovendo inclusão digital, apoio à formação docente e fortalecimento das práticas alinhadas à BNCC e à Política Nacional de Educação Digital. Entre seus resultados destacam-se a criação de uma plataforma funcional, a inserção inicial de conteúdos categorizados e a divulgação em eventos acadêmicos. Apesar de desafios como escalabilidade, padronização de materiais e engajamento dos usuários, o RAP apresenta perspectivas de expansão, com internacionalização, recursos interativos e integração com outras plataformas. Assim, consolida-se como uma ferramenta estratégica de impacto educacional, social e acadêmico, contribuindo também para os ODS da Agenda 2030.

Palavras-chave: Robótica educacional; Repositório digital; Metodologias ativas;

TITLE: Final Report – RAP Project (Educational Robotics Repository)

Abstract

The RAP Project (Educational Robotics Repository), developed at UFRN's Natalnet Laboratory, aims to centralize and disseminate educational robotics resources, gathering lesson plans, methodologies, scientific papers, events, and teaching materials. Built on Django, the platform seeks to democratize access to content that is currently scattered across various media, supporting teacher training and fostering practices aligned with the Brazilian National Common Core Curriculum (BNCC) and the National Digital Education Policy. Key outcomes include the creation of a functional platform, categorized resources, and academic dissemination. Challenges such as scalability, standardization of submissions, and user engagement remain, but future perspectives involve internationalization, interactive resources, and integration with other platforms. Thus, RAP establishes itself as a strategic tool with educational, social, and academic

impact, while contributing to the UN's 2030 Agenda for Sustainable Development Goals.

Keywords: Educational robotics; Repository; Active learning methodology;

Introdução

A robótica educacional tem se consolidado como uma metodologia ativa capaz de integrar conteúdos curriculares à prática tecnológica, estimulando a aprendizagem significativa, o raciocínio lógico e o pensamento computacional em crianças e jovens. No Brasil, esse movimento ganhou força a partir da Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2017) e foi ampliado com a Política Nacional de Educação Digital (PNED, Lei nº 14.533/2023), que assegura o acesso à tecnologia nos ambientes escolares, destacando a robótica como eixo fundamental para a formação cidadã.

Apesar de sua relevância, os recursos disponíveis sobre robótica educacional encontram-se dispersos em diferentes mídias: blogs, artigos acadêmicos, relatórios técnicos, vídeos e materiais de professores. Essa fragmentação dificulta a apropriação das práticas por parte da comunidade escolar, reduzindo o potencial de disseminação da robótica educacional no país.

Nesse contexto, surgiu o RAP (Repositório de Robótica Educacional), concebido como uma plataforma digital capaz de reunir, categorizar e divulgar materiais de forma sistemática. Desenvolvido no Laboratório Natalnet da UFRN, o projeto foi implementado em Django, com o objetivo de oferecer um ambiente confiável, escalável e acessível a professores, estudantes e pesquisadores.

Metodologia

O desenvolvimento do RAP seguiu as seguintes etapas:

Levantamento de requisitos – Identificação das necessidades de professores e pesquisadores em relação à organização de materiais.

Modelagem do sistema – Definição da arquitetura em Django, banco de dados relacional e estrutura modular.

Prototipação e interface – Criação de interface intuitiva para navegação, upload e categorização de materiais.

Implementação de seções principais:

Plano de Aula: recursos adaptáveis para diferentes níveis de ensino;

Metodologia: descrições de abordagens pedagógicas;

Acervo: artigos, teses e publicações científicas;

Eventos: divulgação de encontros e congressos;

Materiais Didáticos: tutoriais, kits e simuladores.

Testes e validação – Aplicação piloto junto a professores parceiros, com coleta de feedback sobre usabilidade.

Divulgação – Inserção de materiais no repositório GitHub e publicação de artigos em congressos acadêmicos.

Ferramentas utilizadas incluíram GitHub para versionamento, Figma para prototipação da interface e Trello para gestão de tarefas.

Resultados e Discussões

Criação de uma plataforma funcional em Django, com banco de dados estruturado e interface organizada.

Inclusão inicial de materiais: planos de aula, artigos científicos, metodologias e eventos.

Adoção de categorias de classificação para facilitar a busca por tema, nível escolar e tipo de recurso.

Feedback positivo de professores da rede pública, que destacaram a facilidade de acesso e a relevância dos materiais.

Divulgação acadêmica do projeto por meio de apresentações no CROS 2025 (Brazilian Conference on Robotics) e publicação de artigo em anais da conferência.

Conclusão

O projeto RAP representa uma contribuição significativa para a área de robótica educacional no Brasil, ao centralizar conteúdos dispersos e oferecer um ambiente acessível para professores, alunos e pesquisadores. Seu desenvolvimento no contexto da iniciação científica, no Natalnet/UFRN, evidencia o potencial da integração entre pesquisa acadêmica e inovação tecnológica.

Mais do que um simples repositório, o RAP constitui-se como uma ferramenta estratégica de democratização do conhecimento, alinhada às políticas públicas nacionais e aos ODS da Agenda 2030.

Dessa forma, o projeto não apenas fortalece a educação tecnológica, mas também reafirma o papel da universidade pública na promoção de soluções inovadoras e de impacto social.

Referências

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 1 set. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.533, de 11 de janeiro de 2023. Institui a Política Nacional de Educação Digital. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 12 jan. 2023.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular – Complemento Computação. Brasília: MEC, 2022.

SANTOS, A. B. Robótica educacional e metodologias ativas: práticas de ensino e aprendizagem. São Paulo: Editora Acadêmica, 2024.

ROBOTICS ACADEMY. Educational Robotics Repository. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2023. Disponível em: <https://roboticsacademy.org/>. Acesso em: 1 set. 2025.

STEMNET. STEM Network. London: UK Government, 2023. Disponível em: <https://www.stem.org.uk/>. Acesso em: 1 set. 2025.

CÓDIGO: ET1818

AUTOR: JOSE VALMIR GUERRA NETO

ORIENTADOR: CUSTODIO LEOPOLDINO DE BRITO GUERRA NETO

TÍTULO: Engenharia Reversa e Avaliação de Materiais para Desenvolvimento de Prótese em Pacientes com Pé Diabético

Resumo

Este trabalho objetiva avaliar e propor soluções com materiais poliméricos e compósitos para a confecção de próteses voltadas a pacientes com amputação tipo Chopart, comum entre indivíduos com pé diabético. A abordagem combina engenharia reversa, impressão 3D e análise comparativa de propriedades físico-químicas de diferentes materiais. A metodologia abrange desde a obtenção do modelo tridimensional do membro contralateral em CAD 3D até testes práticos após a impressão em máquinas de prototipagem rápida. Resultados apontam para o potencial dos compósitos híbridos na redução de massa, aumento de resistência e menor impacto ambiental, favorecendo o desenvolvimento de tecnologias assistivas personalizadas, sustentáveis e de baixo custo.

Palavras-chave: Engenharia reversa, Materiais compósitos, Pé diabético, Impressão 3D

TITLE: REVERSE ENGINEERING AND MATERIAL EVALUATION FOR PROSTHETIC DEVELOPMENT IN DIABETIC FOOT PATIENTS

Abstract

This work aims to evaluate and propose solutions using polymeric and composite materials for the fabrication of prostheses intended for patients with Chopart-type amputation, which is common among individuals with diabetic foot. The approach combines reverse engineering, 3D printing, and comparative analysis of the physicochemical properties of different materials. The methodology ranges from obtaining a three-dimensional model of the contralateral limb in 3D CAD to practical tests after printing on rapid prototyping machines. Results indicate the potential of hybrid composites in reducing mass, increasing strength, and lowering environmental impact, thus favoring the development of personalized, sustainable, and low-cost assistive technologies.

Keywords: Reverse Engineering, Composite Materials, Prosthetics, 3D Printing

Introdução

O pé diabético é uma complicação crônica de alta prevalência em indivíduos com diabetes mellitus, estimando-se que até 25% desses pacientes desenvolvam úlceras nos membros inferiores ao longo da vida (Boulton et al., 2005). A recorrência de lesões, somada à neuropatia periférica e infecções persistentes, pode levar a amputações, como a do tipo Chopart, que preserva o calcâneo e parte do tálus. Tais casos exigem próteses capazes de restaurar parcialmente a biomecânica da marcha, redistribuir cargas e oferecer estabilidade funcional (van Netten et al., 2016). O desenvolvimento de próteses personalizadas envolve não apenas design anatômico, mas também seleção criteriosa de materiais com propriedades específicas, como módulo de elasticidade, resiliência e conforto térmico. A Engenharia Química participa desse processo por meio da formulação e caracterização de materiais poliméricos e compósitos, que apresentam potencial para aplicações em dispositivos médicos (Ribeiro et al., 2018). A literatura nacional sobre cartuchos protéticos destaca a viabilidade de compósitos com fibras de vidro e juta (Queiroz, 2008). Aliada à prototipagem rápida, a impressão 3D permite integrar essas soluções com maior agilidade, promovendo individualização e viabilidade econômica (Shuai et al., 2020). Neste contexto, este estudo propõe a aplicação integrada de engenharia reversa, simulação estrutural via elementos finitos (FEM) e análise de materiais, com foco na confecção de próteses do tipo Chopart com maior desempenho e sustentabilidade. As próteses para amputações parciais, como a Chopart, exigem atenção especial à redistribuição das cargas biomecânicas e ao conforto funcional (Boyer; Gardner, 2020). Na engenharia de próteses, o uso de materiais adaptados às condições biomecânicas é essencial. A Engenharia Química contribui para essa área ao fornecer subsídios na seleção de materiais com propriedades ideais, como módulo de elasticidade, dureza Shore, capacidade de absorção de impacto, resistência à fadiga, entre outras propriedades fundamentais. A emergência de tecnologias de prototipagem rápida, como a impressão 3D, permite personalização ágil, associada à redução de custos e tempo de produção, além da possibilidade de adaptação individualizada conforme a anatomia de cada paciente. Neste trabalho, buscou-se integrar conceitos de engenharia reversa à seleção e avaliação de materiais adequados à impressão de próteses, com foco em aplicação real no contexto clínico. O estudo visa também contribuir para a consolidação de metodologias aplicáveis à fabricação de dispositivos médicos personalizados de baixo custo e elevada eficiência funcional.

Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho parte de uma abordagem de estado da arte, envolvendo revisão sistemática da literatura em bases como Scopus, Web of Science e Google Scholar, com foco em publicações dos últimos dez anos sobre materiais poliméricos aplicáveis a próteses de membros inferiores. Após a revisão, empregou-se engenharia reversa para digitalização tridimensional do membro contralateral por meio de escaneamento óptico de alta resolução baseada em protocolos de engenharia reversa já consolidados na literatura (SOUZA et al., 2020). Para a simulação estrutural, foi utilizada a técnica de elementos finitos, comum na modelagem ortopédica computacional (Ferreira et al., 2020). Assim, a malha resultante foi processada em softwares CAD, com posterior exportação para análise estrutural via método dos

elementos finitos (FEM), utilizando o ambiente computacional OrtoCAD. Este software, desenvolvido na UFRN, registrado no INPI sob o No 10127-2, foi modificado para aceitar entradas de pés escaneados em vez de apenas pernas, o que amplia sua aplicabilidade para amputações Chopart. A simulação considerou um cenário de carregamento correspondente a um indivíduo de 80 kg em apoio unipodal, permitindo avaliar a distribuição de tensões e deformações. Foram produzidos modelos em impressora 3D utilizando alguns materiais distintos (Ex PLA). Finalmente, esses materiais foram estudados para conhecermos algumas de suas propriedades físico-químicas. A impressão 3D por modelagem por fusão (FDM) foi empregada devido à sua viabilidade para produção rápida de corpos de prova com diferentes materiais (Bellini; Güçeri, 2003)

Resultados e Discussões

A aplicação da engenharia reversa aliada à prototipagem rápida e à avaliação de materiais poliméricos e compósitos para próteses do tipo Chopart resultou em uma abordagem inovadora para o desenvolvimento de dispositivos assistivos. Os resultados obtidos neste trabalho abrangem desde a etapa de digitalização do membro contralateral até a análise comparativa das propriedades mecânicas, térmicas e econômicas dos materiais, possibilitando uma visão integrada do processo produtivo e do desempenho funcional das próteses.

1. Digitalização e modelagem anatômica O ponto de partida do estudo foi a obtenção de modelos tridimensionais a partir do escaneamento óptico do membro contralateral (pé sadio), procedimento essencial para gerar um modelo fiel e personalizado do membro amputado. A técnica empregada permitiu capturar as geometrias externas com alta resolução, criando uma malha de pontos que, após processamento em softwares CAD, foi transformada em superfícies contínuas via spline, possibilitando a geração de um modelo anatômico tridimensional. Esse modelo foi espelhado geometricamente para reproduzir o pé amputado, garantindo simetria e aproximando-se ao máximo das características reais do paciente. Embora se reconheça que o pé direito não é exatamente o espelho perfeito do pé esquerdo, a metodologia adotada fornece um modelo satisfatório para aplicação clínica e para análises estruturais subsequentes.

2. Simulação estrutural via método dos elementos finitos (FEM) Com o modelo anatômico obtido, a próxima etapa envolveu análises computacionais para simular as condições reais de uso da prótese. O ambiente computacional utilizado foi o OrtoCAD, software registrado no INPI e adaptado para permitir a entrada de modelos provenientes de pés escaneados, expandindo sua aplicabilidade para amputações do tipo Chopart. O cenário de simulação considerou um indivíduo com 80 kg em apoio unipodal, possibilitando avaliar a distribuição de tensões e deformações no material protético. Foi observado que as maiores tensões ocorreram na região anterior do pé, com valores máximos na ordem de 3.500 kPa, enquanto as regiões posteriores, correspondentes ao retopé (calcâneo e tálus), apresentaram menores concentrações de tensões. Essas informações foram fundamentais para definir as áreas críticas da prótese, permitindo reforçar, ainda na fase de projeto, as regiões submetidas a maiores esforços mecânicos, garantindo segurança e confiabilidade durante o uso.

3. Seleção e avaliação dos materiais A escolha dos materiais representou uma das etapas mais relevantes do estudo. Foram analisados os seguintes polímeros e compósitos:

- PLA (Ácido Polilático): polímero biodegradável, de baixo custo e fácil processamento por impressão 3D. Apresentou boa rigidez, porém comportamento frágil sob impactos, limitando seu

uso isolado. • TPU (Poliuretano Termoplástico): material com elevada elasticidade e excelente absorção de impacto, lembrando o comportamento de uma borracha. Contudo, possui custo intermediário e menor rigidez quando comparado a outros polímeros. • PETG (Polietileno Tereftalato Glicol): polímero com boa resistência mecânica e estabilidade térmica, custo intermediário e propriedades moderadas de impacto e elasticidade. • Compósitos híbridos PLA + fibras naturais (curauá, juta): apresentaram o melhor equilíbrio entre resistência mecânica, elasticidade, impacto, custo e sustentabilidade. A avaliação quantitativa, considerando critérios como elasticidade, impacto, biocompatibilidade, sustentabilidade e custo, indicou que o compósito PLA + curauá obteve as melhores pontuações gerais. Esse material apresentou: • Elasticidade: nota 5 • Impacto: nota 4 • Biocompatibilidade: nota 5 • Sustentabilidade: nota 5 • Custo: nota 4 (quase tão barato quanto o PLA puro, porém com desempenho muito superior)

Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam o potencial da integração entre engenharia reversa, análise estrutural computacional e prototipagem rápida por impressão 3D para o desenvolvimento de próteses personalizadas do tipo Chopart, voltadas a pacientes com amputação decorrente do pé diabético. Primeiramente, a aplicação da engenharia reversa, com escaneamento tridimensional do membro contralateral e geração de modelos anatômicos precisos, permitiu a criação de próteses adaptadas à morfologia individual de cada paciente, superando limitações de métodos convencionais que oferecem soluções padronizadas e pouco ergonômicas. A análise via método dos elementos finitos (FEM) forneceu subsídios fundamentais para compreender a distribuição de tensões e deformações, otimizando a geometria e garantindo maior segurança e conforto durante o uso. Em relação aos materiais, os compósitos híbridos reforçados com fibras naturais — como curauá e juta — e, em alguns casos, combinados a fibras sintéticas de alto desempenho, apresentaram resultados promissores ao conciliar leveza, resistência mecânica, biocompatibilidade e sustentabilidade ambiental. Destaca-se a possibilidade de reduzir em até 25% o peso das próteses e em cerca de 40% a pegada de carbono quando fibras naturais substituem parcialmente as sintéticas, sem prejuízo significativo ao desempenho estrutural. Além disso, a impressão 3D demonstrou ser uma ferramenta poderosa para a produção de próteses personalizadas, de baixo custo e rápida fabricação, possibilitando ajustes iterativos no design e adequação às necessidades específicas de cada usuário. Assim, conclui-se que a abordagem proposta não apenas viabiliza a produção de próteses funcionalmente eficientes e sustentáveis, mas também estabelece uma base tecnológica sólida para avanços futuros, incluindo a aplicação de novos materiais, estratégias híbridas de reforço e melhorias contínuas nos processos de manufatura digital e modelagem biomecânica.

Referências

BOULTON, A. J. M.; VINIK, A. I.; AREZZO, J. C.; BRIL, V.; FELDMAN, E. L.; FREEMAN, R. et al. Diabetic neuropathies: a statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, v. 28, n. 4, p. 956–962, 2005. BELLINI, A.; GÜÇERİ, S.

Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling. *Rapid Prototyping Journal*, v. 9, n. 4, p. 252-264, 2003. BOYER, M. I.; GARDNER, M. J. *Amputations and Prosthetics*. Springer, 2020. FERREIRA, M. A. et al. Modelagem computacional em ortopedia: aplicações de análise por elementos finitos em próteses. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 36, n. 3, p. 245-260, 2020. QUEIROZ, W. F. de. Desenvolvimento de métodos construtivos e de novos materiais empregados na confecção de cartuchos de próteses de membros inferiores. Tese (Doutorado) – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. RIBEIRO, B. et al. Polímeros biodegradáveis para aplicação em próteses: avanços e desafios. *Revista Matéria*, v. 23, n. 2, p. 1-15, 2018. SHUAI, C. et al. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, v. 202, p. 108-131, 2020. SOUSA, R. J. et al. Reverse engineering e modelagem 3D aplicadas à personalização de órteses e próteses. *Polímeros*, v. 30, n. 4, p. e2020035, 2020. VAN NETTEN, J. J.; PRICE, P. E.; LAVERY, L. A.; MONTEIRO-SOARES, M.; JENSEN, M. L.; SKREPNEK, G. H. et al. Prevention of foot ulcers in the at-risk patient with diabetes: a systematic review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, v. 32, n. S1, p. 84–98, 2016.

CÓDIGO: HS0040

AUTOR: YANKA SILVA DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: DANY GERALDO KRAMER CAVALCANTI E SILVA

TÍTULO: Desafios do Cotidiano Docente e seus reflexos no Ensino de Ciências

Resumo

As condições precárias enfrentadas na rede pública de ensino brasileira se manifestam como uma barreira para o ensino da área de ciências, visto que a falta de recursos e de capacitação pedagógica culmina em aulas meramente expositivas. Esse estudo investiga os desafios enfrentados por professores do Litoral Sul Potiguar no ensino de ciências, com foco na precarização das condições de trabalho e seus reflexos na prática pedagógica. O estudo analisou 111 docentes de escolas públicas do Litoral Sul Potiguar. Identificou-se que 65% possuíam vínculos temporários e 58,52% possuíam mais de 10 anos de sala de aula. Apesar das limitações, 52% afirmaram usar metodologias ativas semanalmente. A sobrecarga de trabalho (81%), a precariedade estrutural (72%) e a falta de materiais (70%) foram os desafios mais apontados. Verificou-se ainda correlação entre a desmotivação dos alunos e as más condições enfrentadas pelos professores.

Palavras-chave: Ensino de Ciências. Litoral Sul Potiguar. Desafios Docentes.

TITLE: Everyday Teaching Challenges and Their Impact on Science Education

Abstract

The precarious conditions faced in Brazil's public education system act as a barrier to science education, as the lack of resources and pedagogical training results in merely expository lessons. This study investigates the challenges faced by science teachers in the Southern Coast of Rio Grande do Norte, focusing on the deterioration of working conditions and its impact on pedagogical practices. The study analyzed 111 public school teachers from the region. It was found that 65% had temporary contracts and 58.52% had more than 10 years of classroom experience. Despite the limitations, 52% reported using active methodologies on a weekly basis. Work overload (81%), poor infrastructure (72%), and lack of materials (70%) were the most frequently cited

challenges. A correlation was also observed between student demotivation and the poor conditions faced by teachers.

Keywords: Science Education. Southern Coast of Rio Grande do Norte. Challenges.

Introdução

O conhecimento científico é essencial para a compreensão de temas relacionados à saúde, tecnologia, produção de alimentos, meio ambiente, entre outros. A Base Nacional Comum Curricular destaca que é fundamental que todo indivíduo tenha conhecimentos básicos em ciência mesmo sem exercer a profissão de cientista. Por esse motivo, as Ciências da Natureza (CN) ocupam um papel fundamental no ensino brasileiro, sendo abordadas por meio de diferentes temas ao longo da trajetória escolar dos estudantes (BRASIL, 2018; DE MATTOS, AMESTOY e TOLENTINO NETO, 2022).

O ensino de CN ainda é predominantemente baseado em práticas tradicionais, caracterizadas pela exposição teórica e pela fragmentação dos conteúdos, o que dificulta a compreensão e limita a aprendizagem. Apesar dos temas possuírem grande potencial para despertar a curiosidade e a criticidade dos alunos, as abordagens puramente passivas reduzem esse processo. Se faz necessário a articulação junto a metodologias ativas que permitam contextualizar o conteúdo, desenvolvendo a capacidade do aluno identificar fenômenos científicos ao seu redor (BONATTO; LAUXEN, 2023; SANTOS, 2020). As metodologias ativas podem ser definidas como estratégias que colocam o estudante no centro do processo educativo, promovendo seu protagonismo. No contexto do ensino de ciências, essa abordagem favorece a aprendizagem ao estimular a investigação, a experimentação e o envolvimento com situações reais, aproximando os conteúdos científicos da vivência cotidiana dos alunos. (ARAUJO; RAMOS, 2023).

Dentro da realidade da rede pública nacional, o ensino de ciências é marcado por inúmeras deficiências técnicas. No que se refere a déficits estruturais, a ausência de laboratórios, a escassez de materiais e reagentes e a carência de recursos tecnológicos, dificultam a realização de práticas pedagógicas experimentais. Mesmo nas escolas que possuem laboratórios, esses espaços frequentemente não são utilizados de forma adequada devido à sua má conservação e à falta de profissionais capacitados (BRANCO 2018; SILVA; FREITAS; ARAÚJO, 2020). O cenário se agrava pelas condições enfrentadas pelos profissionais da educação. Salários pouco atrativos e más condições de trabalho refletem diretamente na qualidade da formação docente e no exercício da profissão. Muitos professores que atuam na área de ciências não possuem formação específica, o que dificulta a aplicação de abordagens didáticas mais efetivas e contextualizadas. (BRANCO, 2018; SILVA; MOTTA, 2019).

Embora tais limitações sejam comuns em todo o Brasil, tendem a ser atenuadas em municípios pequenos, como os que compõem a microrregião do Litoral Sul Potiguar, no Rio Grande do Norte. No referido espaço, a precariedade estrutural e a falta de formação docente especializada compromete a instrução em ciências, evidenciando a necessidade

urgente da criação de metodologias de ensino adaptadas às especificidades locais. Diante desse cenário, o estudo buscou caracterizar as principais dificuldades enfrentadas por docentes no ensino de ciências em escolas públicas do Litoral Sul Potiguar. Ao considerar os limites estruturais, formativos e metodológicos presentes e compreendendo como essas barreiras afetam o processo de ensino-aprendizagem dentro das escolas dessa região.

Metodologia

Esta pesquisa trata-se de um estudo de campo de caráter quali-quantitativo, na qual buscou-se caracterizar os possíveis desafios para o ensino de ciências em escolas do litoral sul do estado do Rio Grande do Norte. O estudo foi realizado entre os anos de 2024 e 2025, sendo o público alvo docentes das escolas públicas localizadas nos municípios de Tibau do Sul, Vila Flor, São José do Mipibu e Jundiá. A coleta de dados ocorreu por meio de questionários previamente estruturados.

A aplicação dos questionários ocorreu presencialmente, durante visitas de campo às escolas mencionadas, e também a distância, por meio de formulário eletrônico (Google Forms), com a finalidade de ampliar o alcance junto aos professores da região. O questionário online ficou disponível durante o mesmo período que ocorreram as visitas de campo. Ao todo, foram obtidas de maneira voluntária o total de 111 respostas. O questionário foi estruturado em duas seções principais. A primeira contendo questões objetivas ordenadas por escala de likert, voltadas ao perfil sociodemográfico dos participantes, permitindo a coleta de dados padronizados. A segunda seção aborda aspectos relacionados à atividade docente, contendo perguntas objetivas e abertas. As perguntas abertas possibilitaram respostas mais detalhadas e qualitativas acerca da opinião dos entrevistados, favorecendo a compreensão dos desafios vivenciados pelos docentes. Ademais, foram incluídas questões para avaliar dentro de uma escala o nível de dificuldade percebido pelos professores frente a desafios comuns em sua prática profissional.

Os dados oriundos das questões fechadas foram tabulados no software Google Docs, o que possibilitou a sistematização e análise de percentuais. Além disso, foi aplicada a correlação de Spearman, que avalia se há relação entre as duas variáveis. Caso existente, demonstra o grau dessa correlação e a maneira como ela se influencia mutuamente. Para as respostas abertas, realizou-se análise qualitativa, com as respostas identificadas por códigos numéricos referentes aos participantes, garantindo anonimato.

Resultados e Discussões

Os dados analisados são referentes a uma amostra de 111 questionários respondidos. A maioria eram mulheres (87,39%), na faixa etária entre 29 e 48 anos (66,67%). A formação inicial predominante foi na área de Humanas (62,16%). Quanto ao grau de titulação acadêmica, a maioria dos docentes possuíam pós-graduação Lato/Stricto Sensu (51,36%). Os vínculos institucionais, em sua maioria eram temporários (65,77%). A caracterização detalhada do perfil desses docentes pode ser consultada na Tabela 1.

Tabela 1

Destacou-se que 64,39% dos temporários possuíam mais de 6 anos de atuação em sala de aula. Entretanto a adesão de pós-graduação Stricto Sensu entre eles foi menor em comparação aos professores concursados, mesmo os efetivos sendo minoria entre os tipos de vínculo (26,13%). O termo “precariado professoral” é empregado por Silva e Motta (2019) para nomear a crescente categoria de professores que mantém vínculos atípicos com as escolas. Esses tendem a enfrentar contratos instáveis, geralmente de meio período, com salários e benefícios baixos. Os relatos de sobrecarga de trabalho não são incomuns, pois eles tendem a atuar em múltiplas disciplinas e instituições para complementar renda (SEKI et al., 2017). A escassez de tempo já é uma barreira enfrentada pelos profissionais da educação, e que a categoria de temporários costuma enfrentar em maior grau, e como consequência se torna uma barreira adicional para dedicação a formações continuadas de maior nível como a pós-graduação Stricto Sensu (DE LIMA; DA CUNHA 2022).

A área de ciências durante os anos iniciais do ensino fundamental é majoritariamente ministrada por professores polivalentes com formação em pedagogia. Ocorrendo em alguns contextos, docentes com outras licenciaturas, alocados para a etapa, sobretudo em situações de carência de profissionais (PAIVA; MOTA; CAMPOS, 2025). Tal fato explica a baixa quantidade de professores com formação inicial em ciências da natureza (5,41%), ou seja, os conteúdos da área estão sendo ministrados majoritariamente por profissionais que tiveram pouco ou nenhum contato com os conteúdos das ciências naturais em sua formação inicial. Vale citar que em grande parte dos currículos de graduação em pedagogia, a carga horária para CN costuma ser de 60 horas, sendo insuficiente para abordar o conteúdo necessário da BNCC-EF e se voltando para metodologias interdisciplinares (DIAS et al., 2021). O resultado é a fragmentação de conteúdo e dificuldade dos professores em dar sentido prático aos conteúdos científicos. Nessa linha, as formações continuadas a curto prazo são ideais para mitigar a lacuna educativa deixada pela formação inicial (FABRI et. al., 2020). A proposta se configura como uma alternativa diante da escassez de tempo, pois, além de consistir em cursos curtos, também pode ser realizada de forma assíncrona, facilitando a conciliação com a rotina docente (BARBOSA, 2019).

Os docentes foram questionados sobre o nível de confiança que sentem para exercer sua profissão, e 90,99% dos participantes apresentaram uma alta confiança. Apesar disso, ao serem questionados sobre a necessidade de formação continuada voltada a área de ciências, 79,28% revelou possuir sim uma alta necessidade. Os gráficos estão ilustrados na Figura 1.

Figura 1

Esse cenário mostra que a confiança profissional não exclui o reconhecimento da necessidade de atualização em uma área na qual há pouco domínio dos saberes. Houve também, uma pergunta aberta para saber mais sobre as principais motivações por trás dessa necessidade.

Foi revelada a perspectiva da formação continuada como um meio de ampliar a qualificação para a prática pedagógica, isto pode ser observado em respostas como: “Porque é importante para o desenvolvimento pessoal e profissional, aumenta nossa autonomia para poder lidar com mais segurança(P52).”; “Para ampliar o meu conhecimento e assim melhorar a prática, assim a aprendizagem dos alunos tem um melhor resultado(P55).”; “Para ampliar e melhorar as minhas práticas pedagógicas(P96).”, entre outras. Essa perspectiva se alinha à análise de Souza (2023), ao destacar que a formação ao longo da carreira se associa ao desenvolvimento profissional e pessoal, de forma a promover um sentimento de realização e fortalecer sua autoestima profissional.

Além disso, também foi destaque a necessidade por atualização profissional, com respostas como: “Atualização de conteúdos e metodologias mais modernas.(P63)”; “Para que eu possa encontrar novos métodos para colocar em prática na sala de aula.(P76)”; “Para me capacitar para essa nova geração de estudante, com novas necessidades e obter bons resultados.(P83).”, entre outras. A formação inicial, obtida por meio da licenciatura, constitui a porta de entrada para a carreira docente, devendo estar alinhada às exigências do processo de ensino. A sociedade está em constante transformação, assim como as exigências de ensino, assim, o professor deve estar à frente da demanda contemporânea de seus estudantes.(CALAZANS, 2020). Grande parte dos docentes analisados possui mais de uma década de experiência em sala de aula, tornando ainda mais fundamental a busca por atualização, principalmente com o avanço das metodologias ativas no campo educacional, que tem se destacado por transformar o ensino tradicional em um processo com maior envolvimento e centralização no aluno.

Em virtude desse contexto, foi indagado durante a pesquisa com qual frequência os docentes utilizaram metodologias ou tecnologias ativas durante o último ano (Figura 2). Com 52,25%, a maioria apontou a utilização semanal, entretanto, 16,22% afirmaram não fazer uso de nenhuma.

Figura 2

A alta frequência de uso semanal é um aspecto positivo encontrado. A constância é essencial pois, o cérebro precisa de tempo para assimilar informações, sendo influenciado por fatores emocionais e pelo contexto vivido. As metodologias ativas tornam a aprendizagem mais significativa ao estimular autonomia e reflexão (MOTA; ROSA, 2018). Com isso, o uso frequente, como apontado na pesquisa, fortalece essa construção do conhecimento, conectando o conteúdo à vivência dos alunos. Houve ainda nesse estudo uma pergunta aberta referente a quais metodologias foram mais utilizadas em sala de aula. Foi feita a análise das 161 menções a metodologias utilizadas. As estratégias ativas, obtiveram 109 menções (67,70%) e as tradicionais 37 (22,98%). Ademais, houve 15 menções (9,32%) do termo “lúdico” que nesse estudo foi classificado como recursos que podem ser utilizados de modo ativo ou não a depender do propósito do professor.

Chama atenção a persistência de metodologias tradicionais mencionadas, que usualmente são marcadas por uma aula expositiva e centrada na figura do professor. Isso leva o estudante enxergar a ciência como um mero conjunto de termos complexos a serem memorizados, e não aprendidos (COSTA; VENTURI, 2021). Em contrapartida, foi satisfatório encontrar um número tão alto de menções referentes a diversas estratégias ativas. O uso de jogos/gamificação, se revelou como a estratégia ativa com maior número de menções, sendo 24 (22% das ativas). Quando empregados em sala de aula, os jogos não devem ter somente o objetivo de engajar e divertir o aluno, mas também de ser um meio de aprendizado. Para isso o professor deve ter um propósito bem definido com a dinâmica e seguir um bom planejamento de aula. Tal estratégia se demonstra com maior poder para o aprendizado quando os alunos são envolvidos nos processo de elaboração dos jogos (VALENÇA, 2022). Destacam-se também 15 menções ligadas às TICS (Tecnologias da Informação e Comunicação), sendo 14,02% do total de ativas. Conforme a literatura aponta, a falta de formação adequada e de equipamentos em bom estado tem sido o principal obstáculo ao avanço do uso das TICs em sala de aula (BERTUSSO, 2020). Ou seja, apesar de ser um número expressivo de menções, poderia ser maior não fosse esses desafios comumente enfrentados por professores para realizar uso dessa e de outras estratégias de aprendizagem ativa.

Sob a perspectiva anteriormente apresentada, para avaliar o grau de dificuldade percebido no exercício da profissão, foi apresentado aos professores uma tabela com os desafios comumente enfrentados, com uma escala de intensidade que variava de 1 (mínimo) a 4 (máximo). Posteriormente as respostas marcadas como 1 e 2 foram classificadas como “baixo” e as entre 3 e 4 foram classificadas como “considerável”, conforme se evidencia na Tabela 2. Quanto aos classificados como consideráveis, destacou-se com 81,98% o excesso de carga de trabalho, problemas na infraestrutura escolar (72,07%), a falta de motivação dos estudantes (71,17%) e a falta de material didático (70,27%). Já a falta de capacitação (69,37%) e o baixo salário (68,47%) também se classificaram predominantemente como consideráveis, porém com percentuais inferiores em comparação aos outros desafios.

Tabela 2

Buscando identificar a existência de correlações entre os dados fechados, foi utilizada a análise de Spearman. Verificou-se que a falta de motivação dos estudantes se relaciona diretamente com a falta de capacitação docente, o excesso de carga de trabalho e baixos salários. Ou seja, o desinteresse do aluno é um reflexo direto das condições precárias enfrentadas pelos professores. A sobrecarga de trabalho reduz drasticamente o tempo disponível para o planejamento de aulas mais dinâmicas e contextualizadas, comprometendo a qualidade do ensino. A formação continuada, essencial para a atualização em práticas pedagógicas inovadoras, torna-se de difícil acesso diante da rotina exaustiva. Além disso, a desvalorização da profissão, expressa em baixos salários, pode desmotivar os próprios docentes em buscar capacitação, gerando um ciclo de estagnação. Sem acesso a formação adequada e condições dignas de trabalho, muitos recorrem a métodos tradicionais e expositivos, que raramente conseguem despertar o interesse do aluno pela ciência. (DE CARVALHO, 2025; LIMA et al., 2021). A falta de capacitação continuada limita o acesso dos docentes a novas metodologias e também ao uso criativo dos materiais. Em relação à falta de material didático, destaca-se a ausência ou a necessidade de compartilhamento de livros de ciências entre os alunos, assim como a

escassez de recursos pedagógicos que, de forma semelhante, auxiliam na visualização de conceitos frequentemente abstratos durante aulas teóricas. Quando somada à carência de material didático adequado, essa lacuna dificulta ainda mais a inovação em sala, reforçando práticas tradicionais e pouco atrativas. Ambas limitações se inter-relacionam, pois comprometem a realização de aulas práticas e a execução de experimentos. (AGUIAR, 2025; BRANCO 2018). Foi revelado que quanto maior o tempo de docência menor a percepção da falta de infraestrutura escolar como uma problemática. A precarização dentro de espaços escolares se associa a falta de condições adequadas e seguras para realizar aulas práticas de ciências, como em laboratórios (BRANCO, 2018).

Os dados discutidos revelaram que os desafios enfrentados pelos docentes vão além da prática em sala de aula, envolvendo precariedade estrutural, vínculos instáveis e limitações formativas. Esses fatores inter-relacionam e impactam diretamente a qualidade do ensino, especialmente em ciências, onde há demanda por metodologias mais dinâmicas e recursos adequados.

Conclusão

Conclui-se que as condições de trabalho docente tais como a predominância de vínculos temporários, falta de capacitação e de recursos, impactam diretamente na adoção de metodologias mais dinâmicas, sobretudo por conta da sobrecarga de trabalho vivenciada pelos professores. Apesar de uma quantidade satisfatória de professores utilizarem metodologias ativas com frequência, ainda é uma preocupação a quantidade daqueles que revelaram ministrar aulas puramente expositivas, que dentro da área de ciências se tornam abstratas. Ademais, a percepção de desmotivação dos estudantes se correlacionou com diversas condições de precarização docente, mostrando o impacto que a insalubridade da carreira docente pode ter no ensino-aprendizagem.

Ao caracterizar e dar visibilidade a essa realidade, o estudo contribui para reforçar a demanda de políticas públicas educacionais eficazes. Voltadas a melhoria da carreira docente e a capacitação continuada acessível, de modo que possa ser conciliada com a escassez de tempo, principalmente a enfrentada por docentes temporários. Ressalta-se ainda a urgência por investimento financeiro para materiais pedagógicos e estruturais que viabilizem a intensificação de aulas mais práticas no ensino de ciências.

Um ponto de limitação enfrentado na pesquisa foi que devido a distância geográfica da microrregião, a viabilidade de visitas de campo predominaram no horário matutino, devido ao revezamento de turnos e séries dentro das instituições de educação houve majoritariamente a participação de docentes dos anos iniciais do fundamental I, que contribuiu para uma diversidade de formações iniciais docentes. Para que a análise possa ser aprofundada, sugere-se que em futuros estudos sejam voltados a docentes das áreas específicas de ciências da natureza.

A pesquisa demonstrou que conhecer de perto a realidade vivenciada por professores é essencial para propor ações que possam mitigar os desafios enfrentados e fortalecer como um todo o ensino de ciências na educação básica.

Referências

1. AGUIAR, Adriana Karina Pontes et al. Formação continuada docente como forma de excelência no ensino. 4 jul. 2025. Disponível em: <https://imperium.org.br/formação-continuada-docente-como-forma-de-excelência-no-ensino/>. Acesso em: 10 jul. 2025.
2. ARAÚJO, W. P.; RAMOS, L. P. S. Active methodologies in Science teaching: challenges and possibilities in teaching practice. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 12, n. 1, p. e1412139150, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i1.39150. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39150>. Acesso em: 14 jul. 2025.
3. BARBOSA, Pércia Paiva; URSI, Suzana. Motivação para formação continuada em Educação a Distância: um estudo exploratório com professores de Biologia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 18, n. 1, p. 148-172, 2019.
4. BERTUSSO, Fernando Rodrigo et al. A utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no ensino de Ciências: um paradigma a ser vencido. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 12, p. e26691211099-e26691211099, 2020.
5. BONATTO, Alexsandro; LAUXEN, Ademar Antonio. As possibilidades para a contextualização no ensino e aprendizagem de ciências da natureza: uma revisão das publicações em revistas da área de ensino. *Revista Debates em Ensino de Química*, v. 9, n. 1, p. 102-117, 2023.
6. BRANCO, Emerson Pereira; BRANCO, Alessandra Batista de Godoi; IWASSE, Lilian Fávaro Alegrância; ZANATTA, Shalimar Calegari. O ensino de Ciências no Brasil: dilemas e desafios contemporâneos. *Revista Valore*, [S. l.], v. 3, p. 714-725, 2018. DOI: 10.22408/rev302018181714-725. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/181>. Acesso em: 10 jul. 2025.
7. BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2025.
8. CALAZANS, Marcelo. Formação de professores e a complexidade do mundo contemporâneo: desafios e perspectivas. In: OLIVEIRA, I. B.; DUARTE, N. R. (Orgs.). *Profissão docente: saberes e práticas*. São Paulo: Cortez, 2020. p. 45-62.
9. COSTA, Leoni Ventura; VENTURI, Tiago. Metodologias Ativas no Ensino de Ciências e Biologia: compreendendo as produções da última década. *Revista Insignare Scientia-RIS*, v. 4, n. 6, p. 417-436, 2021.
10. DIAS, Lisete Funari et al. A formação de professores para o ensino na área de Ciências da Natureza e a Base Nacional Comum Curricular. *Revista Insignare Scientia – RIS*, v. 4, n. 6, p. 145-166, 2021. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/insignare/article/view/17045>. Acesso em: 12 jul. 2025.

1. DE CARVALHO, Virgínia Donizete. Percepções de sobrecarga e desinteresse dos alunos: as faces do estresse docente em escola pública. *Revista Psicologia, Diversidade e Saúde*, Salvador, Brasil, v. 14, p. e5922, 2025. DOI: 10.17267/2317-3394rpsds.2025.e5922. Disponível em: <https://journals.bahiana.edu.br/index.php/psicologia/article/view/5922..> Acesso em: 10 jul. 2025.
2. DE LIMA, Geiziane Ferreira; DA CUNHA, Débora Alfaia. DESENVOLVIMENTO PROFISSIONAL DOCENTE E PÓS-GRADUAÇÃO: motivações e dificuldades para cursar um mestrado acadêmico. *Revista Exitus*, v. 12, p. e022020-e022020, 2022.
3. DE MATTOS, Kéli Renata Corrêa; AMESTOY, Micheli Bordoli; DE TOLENTINO NETO, Luiz Caldeira Brant. O ensino de Ciências da Natureza nas versões da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, v. 18, n. 40, p. 22-34, 2022.
4. FABRI, Fabiane et al. Ensino de Ciências, alfabetização científica e tecnológica e enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade: o que pensam docentes dos anos iniciais do Ensino Fundamental em exercício? *Revista Práxis*, v. 12, n. 24, 2020.
5. MOTA, A. R.; WERNER DA ROSA, C. T. Ensaio sobre metodologias ativas: reflexões e propostas. *Revista Espaço Pedagógico*, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 261-276, 2018. DOI: 10.5335/rep.v25i2.8161. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rep/article/view/8161>. Acesso em: 11 jul. 2025.
6. PAULA DE LIMA, L.; OLIVEIRA, C. T. A.; CRUZ, J. T.; MOURÃO, C. I. Fatores motivacionais e o desinteresse pelas aulas de ciências sob o ponto de vista dos alunos dos anos finais do ensino fundamental em uma escola no município de Beberibe, Ceará. *Conexão ComCiência*, [S. l.], v. 1, n. 3, 2021. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/conexaocomciencia/article/view/5860>. Acesso em: 11 jul. 2025.
7. PAIVA, Amanda Barbosa de; MOTA, Luciene Sandes; CAMPOS, Sheila Garbulha Tunuchi de. A formação de professores dos anos iniciais para o ensino de Ciências. *Revista de Educação*, v. 17, n. 17, p. 43-54, 2025.
8. SANTOS, R. dos; MENEZES, A. de. A experimentação no ensino de Química: principais abordagens, problemas e desafios. *Revista Eletrônica Pesquiseduca*, [S. l.], v. 12, n. 26, p. 180–207, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unisantos.br/pesquiseduca/article/view/940>. Acesso em: 10 jul. 2025.
9. SEKI, Allan Kenji et al. Professor temporário: um passageiro permanente na Educação Básica brasileira. *Práxis Educativa*, v. 12, n. 3, p. 942-959, 2017.
10. SILVA, Amanda Moreira da; MOTTA, Vânia Cardoso da. O precariado professoral e as tendências de precarização que atingem os docentes do setor público. *Roteiro*, v. 44, n. 3, 2019.
11. SILVA, Franciele de Cássia; FREITAS, Wanderson da Silva; ARAÚJO, Ana Flávia Ferreira. Os desafios na utilização do laboratório de ensino de Ciências pelos professores de Ciências da Natureza. *Revista Tema Didático*, v. 20, n. 1, p. 50-60, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/346214103>. Acesso em: 13 jul. 2025.
12. SOUZA, Livia Barbosa Pacheco. Formação continuada: qualificação profissional docente. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e*

Educação – REASE, São Paulo, v. 9, n. 5, p. 2249-2261, maio 2023. ISSN 2675-3375. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v9i5.9969>. Disponível em: <https://www.rease.com.br/rease/article/view/9969>. Acesso em: 12 jul. 2025.

13. VALENÇA, João Antônio Pinheiro et al. Gamificação, estratégias e desafios para o ensino de ciências: uma revisão bibliográfica. 2022.

Anexos



Tabela 1 - Perfil sociodemográfico dos professores da rede municipal de ensino básico do Litoral Sul Potiguar.



Figura 1 - Gráfico de relação entre grau de confiança para exercer a profissão docente com a necessidade de formação continuada voltada à ciências.



Figura 2 - Gráfico de frequência de uso de tecnologias e metodologias ativas por parte dos docentes do Litoral Sul Potiguar



Tabela 2 - Grau de dificuldade acerca de desafios enfrentados pelos professores do Litoral Sul Potiguar.

CÓDIGO: HS0055

AUTOR: AMANDA KALINIEWICZ NEGRETTO

ORIENTADOR: GLEICE VIRGINIA MEDEIROS DE AZAMBUJA ELALI

TÍTULO: Modos de conviver com a natureza e perceber as mudanças climáticas:
a ótica de crianças do 5º e 6º ano do ensino fundamental

Resumo

Em um contexto em que a conexão das crianças com o ambiente natural está em crescente decadência, principalmente devido ao uso exacerbado de telas, é essencial analisar como estão se comportando as crianças da cidade de Natal (RN). Fazendo parte da pesquisa “CONDIÇÕES DE CONVÍVIO COM A NATUREZA: UM ESTUDO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DE ENSINO FUNDAMENTAL NATALENSES”, esse trabalho a parte tem como objetivo estudar as crianças do quinto e sexto ano. A pesquisa inclui a análise de dados coletados por questionários aplicados no trabalho supracitado, bem como a visita a uma escola municipal e uma roda de conversa com os alunos da turma do quinto de ano de lá. Essas duas abordagens permitiram o entendimento de como está a mentalidade infantil acerca da natureza e de mudanças climáticas, bem como a realização de um pequeno mapeamento de quais lugares naturais elas visitam no seu dia-a-dia.

Palavras-chave: Natureza, infância, criança, mudanças climáticas

TITLE: WAYS OF LIVING WITH NATURE AND PERCEIVING CLIMATE
CHANGE: FROM THE PERSPECTIVE OF CHILDREN IN THE 5TH AND 6TH
GRADE OF ELEMENTARY SCHOOL

Abstract

In a context where children's connection with the natural environment is increasingly declining, mainly due to excessive screen time, it is essential to analyze how children in the city of Natal, Rio Grande do Norte, are behaving. As part of the research project "CONDITIONS OF COEXISTENCE WITH NATURE: A STUDY IN MUNICIPAL ELEMENTARY SCHOOLS IN NATAL," this separate study aims to study fifth- and sixth-grade children. The research includes analysis of data collected through questionnaires administered in the aforementioned study, as well as a visit to a municipal school and a discussion with fifth-grade students there. These two approaches allowed us to understand children's mindsets about nature and climate change, as well as to map out which natural places they visit in their daily lives.

Keywords: Nature, childhood, child, climate change,

Introdução

A presente pesquisa se configura como uma parcela de um outro projeto já existente que conta com a participação de seis universidades brasileiras. O objetivo geral desse projeto é entender qual a percepção de crianças sobre a natureza e suas condições de convívio com ela. Por sua vez, essa pesquisa ficou responsável por um nicho desse amplo tópico, estudar a relação de crianças de 10-12 anos com o meio ambiente.

O contato com o ambiente natural é extremamente importante para o desenvolvimento infantil, visto que permite a aquisição de habilidades de categorização, o entendimento de relações causa-efeito e um treinamento prévio em soluções de problemas reais, além de possibilitar diversas oportunidades para aflorar a criatividade. O envolvimento com a natureza também traz à realidade da criança sentimentos como alegria, frustração, perseverança e dúvidas, que podem prover um afloramento de sua identidade e personalidade. (Kellert, 2002). Além de todos os benefícios intelectuais, crianças que exercem atividades ao ar livre tendem a possuir um condicionamento físico melhor do que crianças que não o fazem (T.L. Snell et al., 2018). Tendo isso em vista, o convívio com a natureza não só é importante para as crianças, mas se configura como um fator essencial para seu crescimento e inserção no âmbito social.

Todavia, as crescentes mudanças ambientais, tecnológicas e culturais ao redor do mundo vêm fazendo com que as crianças passem cada vez menos tempo na natureza, muitas vezes trocando esse convívio pelo uso de telas (T.L. Snell et al., 2018). Nas duas últimas gerações, houve um declínio significativo na permissividade de brincadeiras ao ar livre por parte dos pais. Um dos fatores que geraram essa diminuição é o medo dos pais acerca dos riscos que rodeiam o uso de espaços verdes por seus filhos, como o contato com estranhos mal intencionados e acidentes físicos (Truong et al., 2022). Ou seja, o crescimento de uma cultura obcecada por segurança é majoritariamente responsável pelo declínio da convivência infantil em ambientes ao ar livre (Valentine, McKendrick, 1997).

Sabe-se que crescer em ambientes unicamente urbanos traz diversos malefícios, como uma gama de hábitos não saudáveis e uma vulnerabilidade muito maior a estresse e sentimentos negativos (Lederbogen et al., 2011). A crescente restrição a ambientes não naturais e a diminuição de experiências positivas em espaços verdes refletem também em uma falta de interesse na apreciação da natureza e baixa preocupação com os problemas ambientais que vem ocorrendo ao redor do mundo (Gray & Pigott, 2018).

Devido aos fatores supracitados, é imprescindível estudar mais sobre a percepção das crianças a respeito da natureza e suas condições de convívio. O presente trabalho está associado ao projeto de pesquisa “CONDIÇÕES DE CONVÍVIO COM A NATUREZA: UM ESTUDO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DE ENSINO FUNDAMENTAL NATALENSES”, que por sua vez está vinculado às atividades do grupo “PROJETAR – Projeto de Arquitetura e percepção do Ambiente” e “Relações Pessoa-ambiente” (GEPA), que fazem parte da UFRN. Além desses, também faz parte

do projeto “Conexão com a Natureza em Ambientes Escolares da Educação Básica no Brasil” (Pato, 2022), de âmbito Nacional.

Sendo um projeto multidisciplinar entre Arquitetura e Urbanismo, Psicologia ambiental e uma parcela de outros projetos em desenvolvimento, o principal objetivo desse documento é: Investigar como crianças do quinto e sexto ano do ensino fundamental convivem com a natureza e percebem as mudanças climáticas. Desdobrando ainda mais, também é de objetivo desse trabalho compreender as vivências educativas nas escolas que envolvem aproximação com a natureza e identificar se a convivência na natureza desde cedo implica em um nível de conexão mais profundo com ela e as desordens que as cercam.

Metodologia

Apoiando-se na metodologia utilizada no projeto mais amplo, o plano de trabalho da estudante voluntária que subsidiou a elaboração desse relatório recortou parte dos procedimentos realizados, e ocorreu nas etapas:

Revisão bibliográfica sobre relação entre natureza e infância e técnicas para pesquisa com esse grupo etário, com ênfase para técnicas de entrevistas coletivas, como grupos focais e rodas de conversas; No banco de dados da pesquisa, separação e análise de dados quantitativos (coletados anteriormente) referentes a crianças do quinto ano nas escolas de Natal; Elaboração de um roteiro para contato com os estudantes da escola que seria visitada; Visita à escola e realização da conversa com as crianças; Relato da experiência e análise dos dados coletados.

A revisão de literatura aconteceu a partir de textos já trabalhados na pesquisa maior, visando a compreensão de suas bases, alicerçadas pela relação entre infância e natureza, bem como a formação de um arsenal de conhecimentos essenciais à posterior análise dos dados. Em seguida, visto que a metodologia envolveria uma conversa coletiva inspirada em grupos focais, houve uma revisão de literatura sobre esse tema.

Antes da atividade de campo, para um primeiro contato com a opinião das crianças desta faixa etária, foi realizada uma atividade junto à pesquisa “Percepção de crianças do ensino fundamental sobre suas condições de convívio com a natureza”, na qual foram avaliados os dados obtidos (Apêndice 01) e separados os referentes apenas a crianças que se encaixavam na demografia do trabalho. Essa etapa foi de suma importância para conhecer um pouco sobre a mentalidade das crianças que participariam da conversa e sobre os possíveis resultados.

A reunião da revisão de literatura com os dados da pesquisa maior fundamentou o preparo de um guia para nortear o contato com as crianças, que aconteceu em visita a Escola Municipal Celestino Pimentel. Esse estabelecimento oferece ensinos fundamental e médio, contando com 626 estudantes no turno matutino e 324 estudantes no turno vespertino. A roda de conversa foi realizada em março/2025, com uma turma

do quinto ano matutino. Dela participaram 21 estudantes e duas pesquisadoras (a bolsista, que assumiu o papel de moderadora; a professora orientadora, no papel de observadora).

Após a atividade foram escritos dois relatos, uma pela pesquisadora moderadora (a bolsista) e outro pela observadora (professora), cada um com suas peculiaridades, mas ambos com o máximo de fidelidade possível, contendo notas sobre as respostas verbalizadas pelas crianças, seu comportamento e as interações entre o grupo. Os relatos foram comparados permitindo verificar a associação e a complementação entre a percepção de cada uma, o que enriqueceu os resultados.

Resultados e Discussões

1. Alguns dados quantitativos (questionário)

Ao analisar os dados obtidos pela pesquisa “CONDIÇÕES DE CONVÍVIO COM A NATUREZA: UM ESTUDO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DE ENSINO FUNDAMENTAL NATALENSES”, foi utilizado um filtro para separar apenas os alunos de quinto e sexto ano das cinco escolas analisadas (Apêndice 01).

No total, 115 crianças entrevistadas se encaixavam nessa faixa. Em linhas gerais elas se caracterizam como 62 meninas e 53 meninos, de majoritariamente 11 anos. As crianças, em sua maioria, não sabiam dizer a religião de seus pais, mas as que sabiam se dividiram entre católicos e evangélicos em sua maioria. A quantidade de membros por casa variou bastante também, chegando a ter 3 a 6 membros e em números bem distribuídos entre os participantes.

Em linhas gerais, o questionário mostrou que as crianças da faixa etária estudada pensam de maneira muito similar quando o assunto é natureza, pois as respostas obtidas nas 5 escolas foram bastante parecidas em muitos aspectos, com tendência a se ligarem a respostas e emoções positivas.

A primeira pergunta do questionário visava a livre associação de ideias, tendo questionado “Qual a primeira palavra que lhe vem a mente quando pensa na natureza?” As respostas foram muito diversas, estando entre as palavras que mais se repetiram foram “árvore”, “planta” e “animal”, sendo inclusa nessa contagem também sinônimos distantes, como nomes de flores e animais específicos. Além da menção a elementos concretos/objetivos da natureza, também foram observadas respostas mais abstratas/subjetivas, como é o caso de sentimentos positivos como “amor” ou “paz”, embora em uma quantidade significativamente menor.

De todas as perguntas apresentadas no questionário, a que se mostrou mais importante para este plano de trabalho foi “O que você faz no seu tempo livre?” Sendo a pergunta aberta, sua resposta era totalmente livre, sendo posteriormente agrupadas nas categorias: ajuda domiciliar (limpar, arrumar, lavar roupa cozinhar), atividade ao ar livre, atividade

social, brincar, brincar com pets, dormir, ouvir música, praticar esportes, estudo/leitura, praticar/fazer atividade artística, manter o tempo livre (relaxar, fazer nada), usar telas (computador, telefone celular, jogos eletrônicos). Dos participantes 04 não responderam - (Gráfico 01).

Gráfico 01- Atividades realizadas pelas crianças do quinto ao sexto ano das escolas (em anexo)

Dentre as atividades mencionadas, destacaram-se “usar telas” (38 respostas) e “brincar”. (22), havendo uma enorme distância com relação às demais mais citadas, como “estudos e leitura” e “atividade ao ar livre”, que receberam 13 e 09 menções, respectivamente. Note-se que, embora caracterize a contemporaneidade, esse grande uso de telas reduz o contato das crianças da natureza, o que, como indica a literatura, não é positivo para seu desenvolvimento saudável. 2. Dados qualitativos (a roda de conversa)

2. Dados qualitativos (a roda de conversa)

A segunda etapa do trabalho foi o contato com as crianças na Escola Municipal Celestino Pimentel. Embora inicialmente tenha sido planejada como um grupo focal, na atividade de campo a aplicação aconteceu como roda de conversa. Acontece que grupos focais precisam ser feitos com grupos de no máximo 12 pessoas, o que amplia a possibilidade de participação dos envolvidos e permite a análise detalhada tanto as respostas obtidas, quanto do seu comportamento. Para tanto, a turma, com 21 estudantes (10 meninos e 11 meninas), precisaria ser dividida em 2 grupos. Todavia, na prática, devido a outras atividades escolares, a coordenação pedagógica solicitou que a turma não fosse dividida. Isso impediu a realização dos grupos focais, e tornou a atividade uma roda de conversa – para o que as pesquisadoras também estavam preparadas.

Apesar do imprevisto foi possível extrair uma grande quantidade de informação das crianças, a maioria das quais participaram com propriedade, com respostas e comentários que suficientes para possibilitar o entendimento do que eles conhecem e entendem com relação aos assuntos questionados. Apenas 3 delas aparentaram estar envergonhadas demais para conseguir responder, apesar do incentivo das pesquisadoras. Posteriormente uma das professoras da turma comentou que elas geralmente eram pouco participativas em atividades coletivas.

Repetindo a estratégia do questionário, para iniciar a conversa foi perguntado o que era natureza. As respostas variaram em torno de elementos objetivos/básicos, como animais, plantas, vida e oxigênio. Algumas delas manifestaram achar que a pergunta era até um pouco ‘boba’, no sentido da resposta aparentar ser óbvia. De modo diferente do interpretado nas respostas ao questionário, elas indicaram que costumam ter contato com a natureza, e que vão a locais que consideram ‘naturais’, sendo os lugares mais visitados a própria rua (em atividades como passear com o cachorro), o parque (para brincar/praticar esportes com amigos ou familiares) e a praia (nadar, brincar com amigos ou familiares e surfar). Alguns deles também mencionaram que gostavam de ir à lagoa, principalmente para tomar banho e brincar. Assim, demonstram que costumam participar de atividades na natureza em seu tempo livre, a maior parte das quais se voltam para brincadeiras ou diversão.

Outro tema importante foi a mudança climática, a partir da qual pretendíamos entender quais as percepções delas acerca de fenômenos locais e mundiais. As respostas iniciaram amplas, com respostas do tipo “Um dia está quente e outro frio”, mas com o decorrer da conversa, os estudantes conseguiram citar eventos como as enchentes no Rio Grande do Sul (acontecidas em 2024) e explicar suas principais causas, que associaram à grande quantidade de chuvas, às cidades despreparadas, e ao lixo. Além disso, os problemas ligados ao lixo nas cidades foram bastante comentados por alguns alunos, que citaram problemas em suas próprias casas ou de familiares, e as mencionaram como causas para inúmeros problemas, inclusive de saúde. Um aluno comentou uma enchente que destruiu sua casa após grandes chuvas.

Mais especificamente, com relação à cidade de Natal, os participantes falaram sobre a obra de engorda de Ponta Negra, que estava gerando amplas discussões na época, e demonstraram compreender (pelo menos superficialmente) alguns dos problemas envolvidos, sobretudo questões relacionadas ao turismo e ao aumento da área de praia, mas também a possibilidade de algum desastre ecológico, mas sem esclarecer exatamente qual seria.

Foi possível perceber que, nas situações focalizadas, as primeiras respostas produzidas pelas crianças foram mais generalizadas, mas que, ao serem mais estimuladas elas conseguiam comentar assuntos que ouviram na escola ou em casa, e mesmo em suas próprias vivências. De fato, elas se mostraram bem-informadas, demonstrando conhecer tanto questões gerais vinculadas a outros estados, quanto projetos/acontecimentos discutidos na cidade que eles moram.

Para finalizar a conversa foi feita uma provocação bastante vinculada à idade das crianças e inspirada no método utilizado por Alexandra Farias (2017) na dissertação de mestrado ‘O olhar infantil: como crianças de duas escolas natalenses percebem as mudanças climáticas globais’. A pergunta foi: “O que vocês fariam caso fossem super-heróis por um dia e sua missão fosse enfrentar as mudanças climáticas?” Curiosamente, quase todas as respostas envolveram o que denominaram ‘poluição’. Na continuidade da conversa o termo ‘poluição’ foi mais trabalhado, para que eles explicassem seu uso e suas próprias motivações com relação às atividades dos super-heróis. Assim, foi possível entender que para eles o conceito de poluição é muito amplo, de modo que quase tudo se encaixa dentro dele, desde o lixo anteriormente ressaltado, até questões relacionadas ao ambiente físico (ar, água, visual), e mesmo alguns problemas maiores (como o derretimento das geleiras). Portanto, caso a poluição acabe, esses problemas ambientais irão consequentemente acabar também.

Para enfrentarem toda essa poluição os super-heróis desenvolveram superpoderes, tais como a possibilidade de retirar todo o lixo do mundo e impedir que as pessoas gerem poluição. Assim, os principais modos para combater os problemas em foco foram a limpeza e retirada do lixo do que já está poluído e a conscientização para impedir que mais lixo seja gerado.

3. Breve comparativo

Ao analisar de maneira comparativa as duas fontes de dados, percebe-se que as atividades citadas pelas crianças também foram citadas durante a conversa. Constata-se,

por exemplo, que, nos dois tipos de estratégia investigativa (questionário e entrevistas), as palavras usadas pelas crianças foram as mesmas, focando em elementos concretos, que eles podem ver ou tocar, como “animais” e “plantas”.

A maior divergência nas respostas obtidas diz respeito ao contato com a natureza, sendo importante pontuar que as crianças da escola visitada esclareceram seu entendimento de contato com a natureza e compreender as atividades que ali realizam. Em geral disseram que costumavam ir ao ar livre e ter contato com a natureza em muitos momentos: para levar o cachorro para passear, ir à praia, praticar esportes, entre outros. Todavia, ao olhar o gráfico 01, percebe-se que, mesmo somadas, a menção a estas atividades permanece abaixo de uso de telas. Isso indica que esse assunto precisa ser explorado com mais detalhes em novas investigações.

Conclusão

Na investigação foram usadas duas estratégias de pesquisa: questionários e rodas de conversa. Os questionários, aplicados pela pesquisa “CONDIÇÕES DE CONVÍVIO COM A NATUREZA: UM ESTUDO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DE ENSINO FUNDAMENTAL NATALENSES” e recortados no plano de trabalho da bolsista, indicaram que as crianças da faixa etária estudada pensam de maneira muito similar quando o assunto é natureza, geralmente relacionando-a respostas e emoções positivas e a elementos concretos. Por sua vez, a roda de conversa reforça essa ideia, mas também esclarece outros pontos, ampliando a compreensão dos resultados. Embora respostas verbais demandem muito mais confiança e uma linha de raciocínio completa, a maioria dos estudantes participou adequadamente, conseguiu explicar os conceitos técnicos e conectar suas percepções com situações da vida cotidiana, demonstrando que estão atentos para essas questões. Por outro lado, o excesso de uso de telas parece ser um importante problema a enfrentar.

O fato de praticamente todas as crianças afirmarem realizar ao menos uma atividade ao ar livre, mesmo que simples, como andar com o cachorro na rua, demonstra ser necessário repensar as preocupações trazidas pelos autores no referencial teórico, a fim de entender como podem ser trabalhadas no contexto das periferias das cidades brasileiras, nas quais parece que a ideia de contato com a natureza tem peculiaridades. Essa simples constatação já aparenta ser um avanço para a área. Embora nesse momento não seja possível dizer com precisão qual a frequência desses encontros com a natureza e comparar com quanto tempo elas ficam usando telas, para continuidade da investigação aponta-se este como um assunto a ser retomado.

Referências

FARIAS, A. C. O olhar infantil: como crianças de duas escolas natalenses percebem as mudanças climáticas globais. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Psicologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017

KELLERT, S.R. Experiencing nature: affective, cognitive, and evaluative development in childhood. *Children in Nature: Psychological, Sociological, and Evolutionary Investigations*. 2002.

SNELL, T.L. et al. Exploring the impact of contact with nature in childhood on adult personality. *Science Direct*, 2020. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866720306816?via%3Dihub>
b Acesso em: 4 de março de 2025.

TRUONG, M.V. et al. How to encourage parents to let children play in nature: Factors affecting parental perception of children's nature play. *Science Direct*, 2022. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866722000401?via%3Dihub>
b Acesso em: 4 de março de 2025.

VALENTINE, G., MCKENDRICK, J. Children's outdoor play: exploring parental concerns about children's safety and the changing nature of childhood. *Geoforum*, 1997. p. 219–235.

LEDERBOGEN, F., KIRSCH, P., HADDAD, L. et al. City living and urban upbringing affect neural social stress processing in humans. *Nature* 474, p. 498–501 (2011). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature10190> Acesso em: 10 de abril de 2025.

GRAY, Tonia & PIGOTT, Fiona. (2018). Lasting Lessons in Outdoor Learning: A Facilitation Model Emerging from 30 Years of Reflective Practice. *Ecopsychology*, 2018. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/329553322_Lasting_Lessons_in_Outdoor_Learning_A_Facilitation_Model_Emerging_from_30_Years_of_Reflective_Practice
Acesso em: 12 de abril de 2025.

Anexos



Gráfico 01

CÓDIGO: HS0069

AUTOR: MATHEUS FREIRE DE CARVALHO

ORIENTADOR: RENATO DE MEDEIROS

TÍTULO: Edifícios verticais de habitação multifamiliar em Natal/ RN: reflexões sobre processos, projetos e obras a partir da perspectiva dos projetistas.

Resumo

O edifício vertical multifamiliar apresenta-se como uma tipologia edilícia recorrente nas cidades contemporâneas, sendo reflexo de uma expansão urbana acelerada - aglomeração dos centros urbanos - e do domínio de tecnologias que possibilitam esse fenômeno. como por exemplo, os elevadores. As cidades, então, tornam-se cada vez mais verticalizadas, respaldando-se no discurso da modernidade e do “novo morar urbano”.

Conforme Serapião (2021), a mudança do produto imobiliário e a disseminação dessa tipologia visa atender às novas demandas da sociedade - sendo perceptível, inclusive, na configuração do apartamento contemporâneo. Ambos alterados por estratégias mercadológicas que estimulam a concepção e comercialização de unidades habitacionais com áreas diminutas, em detrimento à qualidade arquitetônica.

O presente enfoque do projeto de pesquisa, por sua vez, compreende os processos e reflexões sob a ótica dos projetistas, buscando entender como as múltiplas interferências da atualidade são absorvidas e respondidas no projeto arquitetônico. Com a finalidade de traçar semelhanças nas teorias e métodos contemporâneos de projeção do edifício vertical multifamiliar, analisa-se os dados coletados na fase anterior do estudo, junto às apresentações ministradas por esses profissionais, para sintetizar as metodologias de projeto utilizadas e os rebatimentos em seus projetos. Aponta-se, ainda, que a diversidade de linguagens arquitetônicas corroboram com a formação da paisagem urbana.

Palavras-chave: Processo de projeto, verticalização, edifícios verticais.

TITLE: Vertical multi-family buildings in Natal, RN: reflections on processes, projects and works from the perspective of the designers.

Abstract

Vertical multi-family buildings are a recurring building type in contemporary cities, reflecting rapid urban expansion—the agglomeration of urban centers—and the dominance of technologies that enable this phenomenon, such as elevators. Cities are thus becoming increasingly vertical, supported by the discourse of modernity and “new urban living.”

According to Serapião (2021), the change in real estate products and the spread of this type of building aims to meet the new demands of society, which is also noticeable in the configuration of contemporary apartments. Both have been altered by marketing strategies that encourage the design and commercialization of housing units with small areas, to the detriment of architectural quality.

The present focus of the research project, in turn, comprises the processes and reflections from the designers' perspective, seeking to understand how the multiple interferences of the present day are absorbed and responded to in architectural design. In order to draw similarities in contemporary theories and methods of designing vertical multifamily buildings, the data collected in the previous phase of the study is analyzed, together with the presentations given by these professionals, to synthesize the design methodologies used and the repercussions on their projects. It is also pointed out that the diversity of architectural languages corroborates the formation of the urban landscape.

Keywords: Design process, verticalization, vertical buildings.

Introdução

Diversas pesquisas já foram realizadas envolvendo o tema da verticalização no Brasil, sobretudo focadas em cidades grandes como São Paulo e o Rio de Janeiro (SOMEKH, 1994; SOUZA, 1994; SEGRE e VAZ, 2013). Atualmente, tal fenômeno urbano, caracterizado por meio do conceito da multiplicação do solo, graças ao desenvolvimento e a utilização do elevador como meio de circulação dinâmica, já alcançou cidades médias, seja nas capitais ou em cidades do interior do país, suscitando outras investigações e em diversos campos do conhecimento, como é o caso de pesquisas desenvolvidas por Oliveira e Oliveira (2011) e Toledo, Barbosa e Silva (2015).

No caso do estado do Rio Grande do Norte, Queiroz e Costa (2017) relatam que a verticalização teve início na cidade de Natal, na década de 1930. No entanto, a sua intensificação ocorreu após os anos de 1980, considerando que até 1969, Natal contava com poucos edifícios altos. Nos anos de 1990, esse processo se expandiu para a cidade vizinha de Parnamirim, influenciado pelo menor custo dos terrenos e por uma legislação considerada menos restritiva (comparada com a da capital) pelos incorporadores, construtores e outros agentes do mercado imobiliário. Em relação ao interior do estado, observa-se um expressivo crescimento da verticalização em Mossoró, município

localizado na mesorregião do oeste potiguar, segundo Reges e Junior (2024) e de modo inicial, em outras cidades como Caicó e Currais Novos, cidades-polo do Seridó potiguar.

No caso específico de Natal, em seu quadro atual, pesquisa desenvolvida por Medeiros e Trajano (2023) aponta que do ponto de vista sobre o que está posto ou que é oferecido ao consumidor, em relação à arquitetura, atualmente são observados empreendimentos que foram lançados ou estão em processo de comercialização que, em sua grande maioria, são voltados para famílias com maior poder aquisitivo, com maior tratamento estético e que apresentam cada vez mais a preocupação com as questões de segurança e a busca por exclusividade nos espaços privativos - acentuando o que tem sido observado por outros autores quanto à diferenciação de classes sociais, no processo histórico local relacionado ao tema (Medeiros e Trajano, 2023, p. 1734).

Discussões recentes levantadas por Valença, Brustolin e Dombroski (2024) sobre a arquitetura contemporânea em Natal, apontaram para uma lista de 39 edifícios considerados relevantes para a compreensão do cenário da produção arquitetônica local. Dentre os diversos exemplares identificados, 12 são verticais e apresentam em sua maioria, o uso residencial multifamiliar, ainda que também haja nessa listagem, outros edifícios altos, sejam comerciais ou de prestação de serviços (figura 1).

Metodologia

O universo desta pesquisa foi construído a partir do desdobramento de uma investigação anterior que visou identificar os profissionais com maior atuação na elaboração de projetos de edifícios verticais no mercado imobiliário natalense. Após a primeira etapa que selecionou quatro projetistas por meio de coletas de dados em periódico de circulação local, foram adicionados outros três arquitetos e urbanistas, a partir de pesquisas em sites e redes sociais de construtoras responsáveis por empreendimentos dessa natureza. Desse modo, foi possível partir em direção a uma ampliação do objetivo original: apontar quais são os aspectos relevantes que incidem sobre as práticas projetuais desses profissionais, sob os seus próprios pontos de vista.

O questionário aplicado junto aos respondentes foi dividido em duas partes principais, sendo a primeira focada na caracterização profissional dos arquitetos e a segunda explorando em profundidade os detalhes de seus processos de projeto, relacionados especificamente a edifícios verticais. O instrumento aborda aspectos como particularidades do processo, etapas, prioridades, ferramentas utilizadas, influências externas, informações de briefings, influência do local, dos empreendedores e dos usuários potenciais, a aplicação de conceitos recorrentes e ainda, questões sobre aspectos como a estética, a materialidade, o impacto dos custos e as mudanças percebidas ao longo do tempo sobre o tema do edifício habitacional multifamiliar.

A elaboração da ferramenta de coleta de dados foi possibilitada pela discussão teórico-conceitual apresentada em autores como Kowaltowski et al (2013) que trata do processo de projeto voltado para edifícios verticalizados, ressaltando a multiplicidade de fatores envolvidos e a complexidade do tema. Com a intenção de se aproximar de discussões

sobre o “morar nas alturas”, os estudos de Villa (2020) foram fundamentais para discutir a configuração do apartamento contemporâneo assim como a contribuição de Serapião (2021) que abordou a mudança desse tipo de produto imobiliário a fim de atender às novas demandas da sociedade. Por fim, Vargas e Araújo (2013), ao tratarem da relação mercado imobiliário, arquitetura e a cidade, deram pistas necessárias para que pudessem ser discutidos aspectos que incidem sobre a prática dos profissionais arquitetos que lidam com esse tipo de serviço, tais como a influência dos agentes ligados à produção e comercialização do edifício e que o veem como mercadoria.

Respaldados pelas considerações de diversos autores que tratam o projeto como campo de pesquisa como Boudon (2001), Hanrot (2002) e Lawson (2011), a investigação realizada no campo profissional de atuação e a interpretação dos dados coletados permitiu extrair, de modo qualitativo, informações que explicitam discursos e representam modos de projeção.

Resultados e Discussões

Segundo Boudon (2001), o discurso do arquiteto é muito importante para o entendimento dos processos e projetos que desenvolve. É capaz de introduzir uma dimensão narrativa e “(...) permite ligar uma produção ao pensamento, ao espírito do tempo, às problemáticas sociais e culturais que lhe são contemporâneas” (2001, p.50). Mesmo que esse artigo não analise projetos ou obras, a busca pelo entendimento do olhar do projetista sobre o processo e a suas múltiplas dimensões, tende a colaborar com a compreensão do que se produz para a cidade. Logo, as partes que constituem essa seção do trabalho visam a caracterização do olhar de uma parcela específica de profissionais de arquitetura: aqueles que concebem obras verticais de uso residencial para a capital potiguar.

3.1 Caracterização dos respondentes

Ao traçar o perfil dos respondentes constatou-se que todos foram graduados na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), com pouca diferença de período de formação e, dentre eles, dois concluíram o mestrado profissional na mesma universidade e somente um não realizou curso de pós-graduação. O edifício vertical multifamiliar é a tipologia predominante de produção entre todos, com realizações estimadas entre 15 a 50 projetos na cidade (tabela 1).

Segundo Valença, Brustolin e Dombroski (2024), a adaptação local da arquitetura vertical é perceptível na produção da cidade desde os anos 2000. Pode-se relacionar, portanto, com o período de atuação desses arquitetos, cuja formação se deu entre o fim da década de 1980 e começo dos anos 2000 - com início de atuação a posteriori.

Dentro desse espectro foi relatado também o desenvolvimento de projetos para outros municípios e regiões, que são geridos por escritórios locais. Aqui se estabelece a relação entre a figura do arquiteto e seus respectivos escritórios/ equipes que auxiliam nas concepções e nos detalhamentos.

O padrão que predomina nos produtos desenvolvidos por esses profissionais é de nível intermediário e alto, voltados para classe média/alta. A figura 2 demonstra representações desses imóveis, enfatizando o padrão construtivo adotado.

Diante disso, sofrem menos pressões dos empreendedores quanto à regulação das dimensões e áreas dos ambientes das unidades habitacionais, o que coincide com dados apresentados por Villa (2000) que relata o aumento das áreas dos apartamentos de alto padrão, em contraste com a miniaturização dos ambientes em projetos voltados para classes sociais com menor poder aquisitivo.

3.2 O que mais consideram ao projetar

A complexidade do processo de projeto de arquitetura, conforme Lawson (2011), torna-o único e mutável. Cada arquiteto direciona o seu método de projeção e sistematiza as melhores formas para chegar ao produto final. No contexto da produção do edifício vertical em Natal, as entrevistas realizadas com a amostra de projetistas buscou ordenar essas metodologias através de fluxogramas para identificação de possíveis semelhanças e diferenças entre as estratégias desses profissionais (figura 3).

Dentre os quatro fluxogramas comparados percebe-se a ênfase na concepção à mão-livre nas fases iniciais do projeto por três arquitetos. Fato que pode se relacionar à formação desses profissionais e as técnicas utilizadas nas escolas de arquitetura à época. Apenas o Arquiteto 04 destacou o uso de plataformas BIM em seu processo, porém em fase de desenvolvimento mais técnico das propostas e não em fases iniciais ligadas à concepção arquitetônica.

Também é inerente a pelo menos três desses projetistas o entendimento da constante compatibilização e alinhamento dos projetos, o que pode causar mudanças e influenciar em diferentes fases de desenvolvimento do processo e do produto. Apesar de apenas um dos entrevistados fazer uso do termo “compatibilização”, todos percebem a interferência cíclica nas “correções” ou “alterações” como formas de alinhamento do projeto ou modificações necessárias às instalações complementares.

Durante as entrevistas também foram apontados como limitadores ao projetar: os aspectos legais, ambientais/físicos, econômicos, tecnológicos e de segurança. Ressaltando-se os condicionantes legais e ambientais, que são citados por dois entrevistados (Tabela 2).

Considera-se os aspectos mencionados como modeladores da concepção arquitetônica para cada profissional, já que dialogam com as respostas ou com os arranjos encontrados para solucionar determinados problemas. A ênfase em condicionantes diversas, partindo de projetistas com formações acadêmicas semelhantes, pode-se dar pelo repertório individual - uma vez que referências projetuais abordadas pelos respondentes durante as suas falas, dialogam com o objeto projetado. Estratégias de projeção são mencionadas no discurso dos arquitetos, a partir da citação de obras como “Roteiro para construir no Nordeste”, de Armando de Holanda, e “Cidade para pessoas” de Jan Gehl: exemplos de “referências teóricas” utilizadas. Tudo isso, segundo os profissionais, seria rebatido na arquitetura produzida, relacionada ao meio/ contexto do empreendimento.

Conclusão

Ainda que o estudo não seja sobre a história da construção urbana da capital do Rio Grande do Norte e a sua relação com verticalização, já que tem como objetivo discutir aspectos mais próximos ao métier do profissional da arquitetura e urbanismo que lida diretamente com o projeto de edifícios, foi de suma importância tratar brevemente da ligação entre a cidade e a arquitetura como cenário para entendimento dos processos que envolvem o campo de atuação profissional do projetista.

Com a análise feita a partir dos dados levantados com os entrevistados, foi possível traçar o perfil sócio-econômico dos projetos desenvolvidos por esses arquitetos. O que, de modo geral, leva à conclusão de que, notoriamente, a produção desses profissionais está voltada para uma clientela de alto padrão, reforçando conclusões de estudos anteriores.

Adotando essa linha de raciocínio julga-se que as preocupações com os aspectos principais do edifício vertical - definidos anteriormente e que dizem respeito à qualidade do projeto/ obra arquitetônica - parecem restritas ao consumo das elites locais. Segundo Valença, Goularte e Dombroski (2024), tal fato também é evidenciado pela localização dos empreendimentos, tendo em vista que a concentração desses edifícios ocorre nas proximidades dos eixos estruturantes da capital. Não é coincidência que as melhores condições de infraestrutura urbana e maiores índices possíveis de adensamento estejam atualmente definidos nessas áreas, após o Plano Diretor que entrou em vigor em 2022.

Em síntese, podemos afirmar que o discurso do arquiteto não é neutro e está carregado de ideologias e de influências sociais e culturais, encontrando-se envolto por uma construção simbólica que envolve aspectos econômicos e mesmo políticos. Para além do projeto arquitetônico, está presente nas narrativas que explicam as suas decisões e justificativas, sejam voltadas para o cliente, para o mercado ou para a academia.

Como contribuição desta pesquisa, têm-se a análise desse conjunto de olhares sobre processos, projetos e métodos ligados à prática projetual de profissionais com experiência sobre o edifício vertical na cidade do Natal. Servindo como retrato de um período, pode ser útil para uma compreensão mais abrangente sobre o tema, em âmbito local e regional. Em estágio futuro, espera-se consultar empreendedores ligados ao tema, de modo a coletar informações sob um ponto de vista que influencia diretamente na elaboração desse tipo de projeto e, conseqüentemente, nos rumos das nossas cidades.

Referências

BOUDON, P. Enseigner la conception architecturale: cours d'architecture. Paris: Editions de la Villette, 2000.

FREIRE, P.S. Verticalização cresce acima da média. Tribuna do Norte, Natal, 24 julho, 2011. Disponível em; <https://tribunadonorte.com.br/natal/verticalizacao-cresce-acima-da-media/> Acesso em 20 abr. 2025.

HANROT, S. À la recherche de l'architecture: essai d'épistémologie de la discipline et de la recherche architecturales. Marseille: L'Harmattan, 2002.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; BORGES, F.; SURAIÁ, F.; FARAH, F. Apoiando o Projeto Vertical: Premissas Básicas. In : ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12/ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO , 8.,2013, Brasília. Anais [...]. Brasília: UNB, 2013, p. 1 - 10

LAWSON, B. Como arquitetos e designers pensam. São Paulo: Oficina de textos, 2011

MEDEIROS, R., TRAJANO, M. Edifícios verticais em Natal/ RN: processos e projetos contemporâneos a partir da ótica profissional. In: XI PROJETER, 2023, João Pessoa. Anais [...]. João Pessoa: UFPB, 2023.

NATAL. Lei Complementar n. 208, de 07 de março de 2022. Dispõe sobre o Plano Diretor de Natal e dá outras providências. Natal: Diário Oficial do Município, 2022.

OLIVEIRA, G; OLIVEIRA, R. O processo de verticalização em cidades médias: um estudo preliminar sobre Santa Cruz do Sul-RS, no período de 1970 a 2009. V SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Anais [...]. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2011. Disponível em: <https://www.unisc.br/site/sidr/2011/textos/95.pdf>. Acesso em 20 abr. 2025.

QUEIROZ, T.A.N., COSTA, A.,A. As pesquisas sobre as verticalizações das cidades: breve histórico e dimensões de análise. Sociedade e território, Natal, n.29, v.1, p.31-49,2017. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/10964>. Acesso em 20 abr. 2025.

REGES, A. R. R., SILVA JUNIOR, O. F. S. A verticalização urbana em cidades médias: uma análise da produção do espaço no bairro Nova Betânia em Mossoró. In: SILVA JUNIOR, O. F. S., SOARES, J. A., OLIVEIRA, J. P. As faces urbanas contemporâneas de Mossoró: interações e dinâmicas geográficas.— Mossoró, RN: Edições UERN: FAPERN, 2024.

SEGRE, R., VAZ, L. A cidade do Rio de Janeiro: entre o mar e as montanhas, em direção das alturas. In: MARINS, P.C.G.,ALVIM, Z. (org.).Os céus como fronteira: a verticalização no Brasil. São Paulo: Grifo, 2013.

SERAPIÃO, F. Novo Morar Urbano. São Paulo: Monolito, 2021.

SOMEKH, N. A cidade vertical e o urbanismo modernizador: São Paulo (1920-1939). Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, São Paulo,

1994. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-20092022-111307/pt-br.php> Acesso em 20 abr. 2025.

SOUZA, M. A. A. A identidade da metrópole: a verticalização de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1994.

TOLEDO, A., BARBOSA, M., SILVA, B. Verticalização na cidade de Maceió: estudo de tipologias de edifícios multifamiliares (1986 a 1992). In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2015, Viçosa. Anais [...]. Viçosa: UFV, 2105. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/6d9b0dbb-6fda-40e9-81e0-51f555fc4668> Acesso em 20 abr. 2025.

Anexos



Figura 1: Parte do conjunto de edifícios verticais de uso residencial selecionados como representativos da arquitetura contemporânea em Natal.



Tabela 1: Caracterização dos respondentes



Figura 2: Conjunto de imagens extraídas a partir das entrevistas com os arquitetos



Figura 3: Fluxogramas dos processos de projeto dos arquitetos



Tabela 2: Aspectos condicionantes

CÓDIGO: HS0076

AUTOR: EMILY JORDANA MOURA DE MACEDO

ORIENTADOR: GLEICE VIRGINIA MEDEIROS DE AZAMBUJA ELALI

TÍTULO: RETORNANDO AO CONJUNTO HABITACIONAL LAGOA NOVA I

Resumo

No contexto urbano contemporâneo, marcado por processos intensos de adensamento, reconfiguração morfológica e diversificação de usos, compreender as transformações espaciais ao longo do tempo é essencial para a reflexão sobre o planejamento urbano e habitacional. Com essa intenção, o projeto de pesquisa coordenado investigou a evolução do Conjunto Habitacional Lagoa Nova I (LN-1), localizado em Natal/RN, ao longo de quatro décadas desde a sua ocupação inicial. O presente plano de trabalho concentrou-se na análise das mudanças na configuração e no uso do espaço físico ocorridas tanto no interior do conjunto quanto em seu entorno, utilizando abordagem longitudinal e multiescalar. A pesquisa incluiu levantamento cartográfico, produção de mapas temáticos, observações in loco, imagens de satélite e entrevistas exploratórias com moradores. Os dados obtidos revelaram a transição do LN-1 de área periférica da cidade e com uso predominantemente residencial para território multifuncional, alteração que foi influenciada por instalação de equipamentos urbanos, valorização fundiária e processos de verticalização. A análise evidenciou o papel ativo dos conjuntos habitacionais na estruturação urbana e destacou a importância das abordagens de longo prazo para o entendimento das dinâmicas territoriais.

Palavras-chave: Transformação; Urbano; Cidade; Conjunto Lagoa Nova I

TITLE: RETURNING TO THE LAGOA NOVA I HOUSING COMPLEX

Abstract

In the contemporary urban context, marked by intense processes of densification, morphological reconfiguration, and diversification of uses, understanding spatial transformations over time is essential for reflecting on urban and housing planning. With this purpose, the coordinated research project investigated the evolution of the Lagoa Nova I Housing Complex (LN-1), located in Natal/RN, over four decades since

its initial occupation. This work plan focused on analyzing changes in the configuration and use of physical space that occurred both within the complex and in its surroundings, using a longitudinal and multiscalar approach. The research included cartographic surveys, production of thematic maps, on-site observations, satellite imagery, and exploratory interviews with residents. The data obtained revealed the transition of LN-1 from a peripheral area of the city with predominantly residential use to a multifunctional territory, a transformation influenced by the installation of urban facilities, land appreciation, and verticalization processes. The analysis highlighted the active role of housing complexes in urban structuring and emphasized the importance of long-term approaches for understanding territorial dynamics.

Keywords: Transformation; Urban; City; Lagoa Nova I Housing Complex

Introdução

No Brasil, os conjuntos habitacionais exercem papel central na estruturação na urbana, especialmente a partir das décadas de 1960 e 1970, quando a disseminação da ideologia da casa própria e a atuação do Banco Nacional da Habitação (BNH) impulsionaram a produção massiva de habitações populares (Ferreira; Câmara, 1996). Muitos desses empreendimentos foram aprovados com base em planos diretores vigentes à época, promovidos por cooperativas ou pela iniciativa privada, tornando-se agentes ativos na redefinição do tecido urbano. Em Natal/RN, estima-se que, nos anos 1980, os conjuntos habitacionais ocupavam cerca de 25% do território urbano, percentual que alcançou aproximadamente 37% nos anos 2000, com destaque para a intensa expansão da Zona Norte, direcionada majoritariamente à população de baixa renda (Ferreira; Câmara, 1996; Medeiros, 2007).

Inscrito nesse contexto, o projeto de pesquisa intitulado “Retornando ao Conjunto Habitacional Lagoa Nova I” propõe a análise deste empreendimento transcorridas quatro décadas desde sua ocupação inicial. Situado na cidade de Natal e inaugurado em janeiro de 1975, o Conjunto Lagoa Nova I (LN-1) foi implantado com 264 unidades habitacionais unifamiliares isoladas, distribuídas em lotes de 240 m². A avaliação atual configura uma abordagem longitudinal, dando continuidade a duas pesquisas anteriores realizadas pela mesma pesquisadora em 1982 e 2002. Para tanto, adota-se uma metodologia multimétodo, combinando levantamento físico e de uso, documentação fotográfica, entrevistas semiestruturadas e aplicação de questionários junto aos moradores, com o objetivo de compreender a evolução morfológica e funcional do LN-1 ao longo do tempo. Destaca-se que foram realizadas análises de um período anterior ao da inauguração do conjunto, dada a necessidade de entender o contexto o qual ele foi inserido na cidade.

Metodologia

Em seu primeiro ano, a pesquisa foi conduzida em três etapas complementares, como segue.

- A primeira concentrou-se na análise das transformações urbanas no entorno do Conjunto Lagoa Nova I (LN-1), com a elaboração de mapas de uso do solo, gráficos e linhas do tempo. Os produtos gerados consideraram cinco períodos históricos: 1960–1979, 1980–1989, 2000–2009, 2010–2019 e 2020–2024, relacionando as dinâmicas espaciais aos processos de expansão urbana, verticalização e políticas habitacionais em Natal/RN. Os mapas foram elaborados com um diâmetro de 5 km, com centro deslocado propositalmente do LN-1 para privilegiar a visualização de áreas periféricas em transformação, anteriormente pouco evidenciadas quando o conjunto era o ponto central. Essa escolha metodológica ampliou a leitura das

mudanças morfológicas e funcionais em setores menos consolidados da cidade. Complementarmente, foram produzidos gráficos analíticos com base em uma estrutura concêntrica de 7 km de raio, centrada no LN-1, dividida em sete faixas de 1.000 metros. Essa segmentação radial permitiu avaliar a intensidade das transformações em relação à distância ao conjunto. A coleta de dados dessa etapa combinou visitas in loco e análises remotas com imagens de satélite.

- A segunda etapa voltou-se à análise interna do LN-1, com a produção de um mapa atualizado de uso do solo do conjunto. Para isso, foram realizadas visitas ao local, além da análise de imagens de satélite, permitindo identificar modificações na ocupação e no padrão tipológico das edificações ao longo do tempo.

- A terceira etapa consistiu no mapeamento das residências mais antigas do LN-1, para o que foi realizada uma consulta informal a moradores e usuários do conjunto, com o objetivo de identificar os residentes mais antigos da localidade e, a partir disso, estabelecer base para a próxima etapa da investigação.

Assim, está prevista uma quarta etapa para a presente avaliação, que acontecerá com a renovação do projeto. Nela serão realizadas entrevistas aprofundadas com os moradores mais antigos, as quais subsidiarão a análise qualitativa da evolução residencial e social do conjunto habitacional.

Resultados e Discussões

Os resultados obtidos evidenciam um expressivo adensamento populacional no entorno do LN-1 e a crescente integração entre moradia, trabalho e serviços, promovendo o surgimento de novas centralidades, inclusive em áreas antes exclusivamente residenciais. Embora inicialmente implantado em uma zona periférica, o conjunto passou, a partir da década de 1980, a integrar novas dinâmicas urbanas impulsionadas pela expansão da infraestrutura viária e pela instalação de equipamentos estratégicos. Essas mudanças diversificaram o uso do solo e transformaram a região em um polo multifuncional.

Entre 1960 e 1979, o entorno era predominantemente residencial, com moradias unifamiliares horizontais de baixa densidade, implantadas em conjuntos planejados como Cidade da Esperança, Potilândia e a fase inicial de Candelária. Em paralelo ao início da ocupação do conjunto, nos anos 70 também observa-se no entorno a inauguração de empreendimentos que atraem população, como o Estádio de Futebol Presidente Castelo Branco, o Castelão (1972), a Rodoviária Nova (1981) e a CEASA (1976).

Entre 1980 e 1989 iniciaram-se os primeiros indícios de diversificação tipológica, com o surgimento de condomínios fechados e pequenos centros comerciais e, marcando uma transição para um tecido urbano mais complexo e multifuncional.

A década de 1990 representou uma mudança significativa, com a introdução de grandes equipamentos urbanos. A inauguração de empreendimentos privados de grande porte, como o Hospital Promater (1997), o Natal Shopping (1992) e o Via Direta Shopping (1994) atraiu novos fluxos e serviços, reforçando a centralidade da área. Na mesma época, o antigo Estádio Castelão foi renomeado como Machadão (1990) e passou a integrar um complexo esportivo com a construção do ginásio poliesportivo Machadinho, intensificando o caráter institucional e esportivo do entorno.

Entre 2000 e 2009, consolidou-se o processo de verticalização, com a inserção de edifícios residenciais e comerciais de médio e grande porte, como o Residencial Solaris (2002) e o Smile Village (2008). Essa transformação está relacionada à valorização imobiliária e à otimização do uso do solo em áreas já consolidadas (Tavares, 2010). No período seguinte, de 2010 a 2019, o adensamento vertical foi ampliado, com a construção de hotéis, condomínios e empreendimentos comerciais, além da intensificação de serviços nas áreas de saúde, educação e justiça. Destacam-se a reinauguração do Ginásio DED (2014), a implantação da UPA Esperança (2014), da Escola Municipal Ivonete Maciel (2017) e a consolidação do Complexo Jurídico do RN, com a instalação da sede da OAB (2015) e fóruns judiciais. A construção da Arena das Dunas (2014), em substituição ao antigo Machadão, também provocou importantes alterações viárias e aumentou a valorização do entorno (Farias et al., 2017).

No intervalo mais recente (2020–2024), foram identificadas novas inaugurações e reinaugurações de equipamentos públicos e privados. Na região oeste, destacam-se a Escola Estadual Raimundo Soares (2021), a nova sede da Petrobras (2023), a Delegacia de Plantão e Flagrantes (2023) e o Tribunal de Justiça do RN (2021), reforçando o caráter institucional e jurídico da área. Já na zona leste, foram implantadas escolas privadas como a Luminova (2022) e a unidade provisória do Sesc (2023). Empreendimentos comerciais de grande porte, como o Ferreira Costa (2021) e o Supermercado Mar Vermelho (2023), ampliaram a oferta de bens de consumo e consolidaram o uso misto do território.

Essas transformações urbanas (que a pesquisa registrou graficamente por meio da confecção de mapas e linhas do tempo específicas) repercutiram diretamente na estrutura interna do LN-1, cuja proposta, inspirada pelo urbanismo modernista, priorizava o zoneamento funcional, limitando-se a prever áreas mínimas para serviços de apoio (Choay, 2001). No decorrer destes 40 anos de ocupação, observa-se a incorporação de adaptações a sua área interna, por meio da mudança de uso dos

imóveis, em resposta ao adensamento populacional, ao fortalecimento de eixos comerciais e à reorganização dos fluxos locais. Atualmente, observa-se a predominância de usos comerciais e de serviços ao longo do perímetro do conjunto, enquanto a área central o uso é misto, pois embora se mantenha predominantemente residencial, há fortes sinais de transição funcional, quer pela alteração significativa da estrutura física do imóvel, quer por meio de ajustes para acomodação de dupla funcionalidade.

Em continuidade a essa análise macro realizada em duas versões (o entorno do conjunto e a área interna do LN-1), a pesquisa iniciou o mapeamento das residências ocupadas pelos moradores mais antigos. Para isso, foram realizadas visitas in loco e consulta informal a moradores e usuários de áreas livres, questionados sobre o ano de sua chegada ao conjunto e o conhecimento de moradores antigos na vizinhança. A partir dessas informações foram identificadas 35 residências consideradas potenciais fontes para entrevistas aprofundadas em etapas futuras da pesquisa.

Conclusão

A análise das transformações no entorno do Conjunto Lagoa Nova I, ao longo de seis décadas, evidenciou o impacto contínuo das dinâmicas urbanas sobre a morfologia e o uso do solo. O território evoluiu de uma área predominantemente residencial para um espaço multifuncional, estruturado por comércio, serviços e instituições, resultado de processos como a fragmentação de lotes e modificações tipológicas promovidas por moradores e agentes urbanos. A implantação de equipamentos estratégicos — como a rodoviária, centros comerciais e órgãos públicos — impulsionou o adensamento e reconfigurou as interações espaciais da região. A pesquisa reforça, assim, a importância de abordagens longitudinais para a identificação de padrões de crescimento urbano e para a compreensão das relações entre conjuntos habitacionais e seus entornos, oferecendo subsídios relevantes para políticas urbanas mais integradas e sensíveis às transformações territoriais.

Durante a execução da etapa final da pesquisa, foram registradas dificuldades na coleta de dados relativos à identificação de moradores mais antigos. A metodologia dependia do contato direto com os residentes nas vias públicas, o que resultou em limitações quanto à disponibilidade e precisão das informações. Algumas respostas apresentaram inconsistências ou baixa clareza, o que dificultou o mapeamento completo dos entrevistados em potencial.

Apesar dos desafios, os produtos gerados ao longo do projeto subsidiaram a elaboração do artigo científico intitulado “Transformações urbanas e conjuntos habitacionais: um olhar para 60 anos de um conjunto em Natal/RN”, aprovado para apresentação na 12ª edição do Congresso Projetar, que ocorrerá em Pelotas-RS em outubro/2025. A aceitação do trabalho representa o reconhecimento da relevância teórica e metodológica da pesquisa, destacando sua contribuição para o debate sobre transformações urbanas e o papel dos conjuntos habitacionais na reconfiguração do tecido urbano de nossas cidades.

Referências

AZAMBUJA, G.; SILVA, E. D. Conjuntos habitacionais: uma crise de identidade (monografia). Trabalho Final de Graduação. CAU/UFRN, 1983.

CHOAY, F. O urbanismo: utopias e realidades – uma antologia. Trad. Álvaro Lorencini. São Paulo: Perspectiva, 2001.

ELALI, G. A ; SILVA, E. D. A (1982). Conjuntos habitacionais: uma crise de identidade. Trabalho de graduação não publicado. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

/ Curso de Arquitetura e Urbanismo.

FARIAS, T. M.; GURGEL, F. F.; DINIZ, R. F.; ELALI, G. A. A Copa do Mundo 2014 em Natal

(RN-Brasil): um estudo sobre a percepção dos moradores. Research, Society and Development, v. 5, p. 49–76, 2017.

FERREIRA, A. A. C.; CÂMARA, L. A. P. O sistema de incorporação na produção do espaço urbano em Natal. In: RIBEIRO, L. C. Q. A crise da moradia nas grandes cidades: da questão da habitação à reforma urbana. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1996.

MEDEIROS, S. R. F. Q. A casa própria: sonho ou realidade? Um olhar sobre os conjuntos habitacionais em Natal. Natal: UFRN, 2007. (Dissertação de Mestrado)

TAVARES, M. L. A cidade vertical: morfologia e crescimento vertical em áreas centrais. São Paulo: Annablume, 2010.

CÓDIGO: HS0234

AUTOR: MADJA MONIQUE GALVÃO CRUZ

ORIENTADOR: GLAUCE LILIAN ALVES DE ALBUQUERQUE

TÍTULO: ASPECTOS CONSTRUTIVOS E PROJETUAIS DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS

Resumo

Este trabalho é parte da pesquisa “EDIFÍCIOS COMERCIAIS: Análise, Planejamento e Estratégias de Concepção Espacial”, e tem por objetivo selecionar quais aspectos construtivos mais influenciam as decisões projetuais de edificações comerciais de médio e grande porte. Além disso, está em andamento a catalogação e a ilustração dos sistemas construtivos mais recorrentes em projetos de espaços comerciais, identificando os principais elementos de projeto que influenciam as estratégias de concepção dessas edificações sob diferentes aspectos, no contexto do livro em produção. A pesquisa também busca definir quais elementos gráficos e soluções construtivas deverão ser incorporados aos textos e capítulos da obra. Paralelamente, encontram-se em desenvolvimento materiais gráficos, artigos, croquis e desenhos detalhados dos elementos construtivos e projetuais, que irão enriquecer o conteúdo visual do ebook. Soma-se a isso a realização de um estudo de caso presencial em um shopping da cidade, voltado à análise prática das soluções projetuais e construtivas adotadas. Por fim, já se dispõe de um conjunto de materiais produzidos e organizados, configurando o estudo inicial que servirá de base para o ebook a ser publicado.

Palavras-chave: Projeto de Arquitetura. Arquitetura comercial. Edifícios Comerciais.

TITLE: CONSTRUCTIVE AND DESIGN ASPECTS OF COMMERCIAL
BUILDINGS

Abstract

This work is part of the research project “COMMERCIAL BUILDINGS: Analysis, Planning, and Spatial Design Strategies”, and aims to identify which constructive aspects most influence the design decisions of medium and large-scale commercial buildings. Additionally, the cataloging and illustration of the most recurrent construction systems in commercial space projects is currently underway, identifying the main design elements that influence the conception strategies of these buildings from different perspectives, within the context of a book in progress.

The research also seeks to define which graphic elements and construction solutions should be incorporated into the texts and chapters of the publication. In parallel, graphic materials, articles, sketches, and detailed drawings of the constructive and design elements are being developed, which will enrich the visual content of the ebook.

Moreover, an on-site case study is being conducted at a local shopping mall, focused on the practical analysis of the adopted design and construction solutions. Finally, a set of materials has already been produced and organized, constituting the initial study that will serve as the foundation for the ebook to be published.

Keywords: Architectural Design. Commercial Architecture. Commercial Buildings.

Introdução

As edificações comerciais, em especial os shopping centers, representam um dos segmentos mais complexos e dinâmicos da arquitetura contemporânea. Seu projeto demanda a conciliação de múltiplos fatores, como desempenho construtivo, eficiência funcional, conforto ambiental e atratividade estética, de forma a atender às demandas de um público diversificado e a operações comerciais cada vez mais competitivas. Nesse contexto, o estudo dos aspectos construtivos e projetuais assume papel estratégico para compreender como as decisões de projeto influenciam diretamente a experiência do usuário, a adaptabilidade dos espaços e a longevidade das construções.

A relevância desse tema cresce à medida que novas demandas surgem no cenário urbano e mercadológico, incluindo a necessidade de flexibilidade espacial para abrigar diferentes tipos de atividades, a adoção de sistemas construtivos mais eficientes e sustentáveis e o atendimento a padrões elevados de conforto ambiental, como o desempenho térmico, acústico e lumínico. De

acordo com Ching (2016), a escolha dos sistemas construtivos e dos elementos arquitetônicos deve ser orientada não apenas por critérios estruturais, mas também pela sua capacidade de oferecer qualidade ambiental e de se adaptar ao uso ao longo do tempo. Em shopping centers, tais questões tornam-se ainda mais críticas devido à alta concentração de pessoas, ao funcionamento prolongado e à complexidade dos fluxos de circulação e permanência.

Esta pesquisa tem como objetivo geral selecionar quais aspectos construtivos mais influenciam as decisões projetuais de edificações comerciais de médio e grande porte. Para alcançar tal propósito, o estudo busca identificar os sistemas construtivos mais adotados em espaços comerciais, diagnosticar os principais elementos de projeto que influenciam as estratégias de projeção dessas edificações e organizar um acervo de material gráfico ilustrativo que auxilie no aprofundamento do tema.

O desenvolvimento da investigação foi estruturado em etapas que compreenderam a revisão bibliográfica sobre sistemas construtivos e estratégias projetuais aplicadas à arquitetura comercial, a análise gráfica de projetos e a identificação dos elementos construtivos predominantes, além de um estudo de caso realizado no Natal Shopping, em Natal/RN. A escolha deste empreendimento se justifica por sua relevância no contexto urbano local e pela oportunidade de realizar medições acústicas na praça de alimentação, um espaço crítico para o conforto ambiental e para a percepção de qualidade por parte dos usuários. As medições, realizadas em três dias distintos, permitiram observar o comportamento sonoro em diferentes momentos de uso, gerando dados que podem contribuir com a reflexão sobre as soluções construtivas e projetuais adotadas.

Mais do que levantar informações técnicas, esta pesquisa busca compreender como os métodos construtivos se alinham ou entram em conflito com as necessidades de operação e manutenção desses espaços. Ao considerar aspectos como a escolha de materiais, sistemas estruturais, soluções de vedação, organização espacial e estratégias de conforto, pretende-se oferecer um panorama que auxilie na avaliação e no aprimoramento de futuros projetos. O produto final, estruturado no formato de um ebook digital, reunirá contribuições de diferentes pesquisadores, articulando perspectivas complementares e consolidando um material de referência para o estudo e a prática da arquitetura comercial.

Metodologia

A pesquisa foi estruturada em quatro etapas principais: (1) revisão bibliográfica; (2) análise gráfica e diagnóstico dos sistemas construtivos predominantes em projetos de edifícios comerciais; (3) realização de visitas técnicas no Natal Shopping como estudo de caso; e (4) perspectivas para o desenvolvimento do

ebook e continuidade da pesquisa. Cada uma dessas etapas foi desenvolvida de maneira específica, conforme descrito a seguir.

A revisão bibliográfica concentrou-se principalmente em obras que abordam os sistemas construtivos e as estratégias projetuais em arquitetura comercial. Foram analisadas fontes como Unwin (2013), que discute a análise gráfica e interpretação da arquitetura; além de estudos sobre conforto ambiental e desempenho acústico em edifícios no processo de projeto, como KOWALTOWSKI et al., (2011). Essa etapa foi fundamental para fundamentar teoricamente os aspectos construtivos e projetuais que orientaram as análises posteriores.

Na etapa de análise gráfica, foram examinados projetos técnicos, fotografias e diagramas de shoppings centers para identificar os sistemas construtivos mais utilizados e diagnosticar os principais elementos que influenciam as estratégias projetuais em edificações comerciais. Essa análise seguiu a metodologia interpretativa proposta por Unwin (2013), que enfatiza a leitura fenomenológica dos elementos arquitetônicos.

Como aplicação prática da pesquisa, foram realizadas visitas técnicas e medições acústicas no Natal Shopping, em Natal/RN, como parte da disciplina de Avaliação Pós-Ocupação da pós-graduação. Utilizando equipamentos específicos para medição de níveis sonoros, foram coletados dados em diferentes áreas do empreendimento, com o objetivo de relacionar os resultados aos aspectos construtivos e projetuais previamente analisados, e também incorporar os dados obtidos ao material digital que está em produção.

Por fim, a etapa intitulada "Perspectivas para o desenvolvimento do ebook e continuidade da pesquisa" envolveu a organização do material gráfico e textual já existente para compor o conteúdo da publicação. É importante destacar que, embora o plano de trabalho esteja direcionado à representação gráfica, esta etapa configura-se como um início que deve ter continuidade, visando à organização sistemática das ilustrações a serem produzidas pela pesquisa, tanto para assegurar a proteção dos direitos autorais das imagens quanto para garantir a unidade gráfica de todo o livro.

Resultados e Discussões

Panorama dos Aspectos Construtivos em Edificações Comerciais

A análise dos sistemas construtivos predominantes em edificações comerciais revela uma forte ênfase na busca por soluções que conciliem durabilidade, flexibilidade e funcionalidade dos espaços, aspectos essenciais para a adaptabilidade e longevidade desses empreendimentos. Os projetos arquitetônicos consideram diversos fatores para sua execução e seguem

metodologias que orientam o desenvolvimento do processo projetual. Nesse contexto, destaca-se a relevância do programa de necessidades, da avaliação das edificações por meio de métodos que verifiquem o desempenho dos edifícios em relação às demandas dos usuários, do próprio processo de projeto e, ainda, dos estudos de caso, que possibilitam obter o retorno dos usuários e compreender como esse feedback influencia o design arquitetônico (Voordt; Wegen, 2013).

Esses sistemas permitem, ainda, uma maior flexibilidade na reorganização interna dos espaços comerciais, facilitando a adaptação às mudanças constantes de layout e exigências dos lojistas, que refletem as rápidas transformações no comércio e no comportamento do consumidor. Essa flexibilidade é corroborada por Rutman (2015), que destaca a importância de elementos construtivos que favoreçam a modulação e reconfiguração dos espaços como estratégia para a longevidade dos centros comerciais.

Além disso, a funcionalidade dos edifícios comerciais está diretamente ligada à escolha adequada dos sistemas construtivos, que devem assegurar conforto térmico, acústico e lumínico, aspectos essenciais para a qualidade da experiência dos usuários. Nesse sentido, autores como Ching (2010) ressaltam que a integração entre estrutura, envoltória e sistemas técnicos é determinante para a eficiência energética e o desempenho ambiental dos edifícios, influenciando diretamente a sustentabilidade dos projetos.

No que tange às tendências atuais, observa-se uma crescente adoção de soluções construtivas que incorporam tecnologias sustentáveis, materiais de baixo impacto ambiental e sistemas construtivos industrializados, com destaque para o uso de pré-fabricação e elementos modulares, que aceleram o processo construtivo e reduzem custos e resíduos. Conforme apontam Kowaltowski et al. (2011) e Lima (2012), a tectônica contemporânea valoriza a coerência entre projeto arquitetônico e sistemas construtivos, promovendo uma construção mais racional e alinhada às demandas ambientais e econômicas.

Por fim, os desafios construtivos específicos para shopping centers incluem a necessidade de integrar múltiplos sistemas prediais, como instalações elétricas, hidráulicas, de climatização, segurança, sem comprometer a flexibilidade e a estética do projeto, além de atender a normas rigorosas de acessibilidade, segurança contra incêndio e eficiência operacional. Conforme salientam Silva (1998) e Theo e Herman (2013), esses desafios demandam um trabalho integrado para garantir soluções eficazes e funcionais para o mercado.

Assim, o panorama dos aspectos construtivos em edificações comerciais aponta para um equilíbrio entre diretrizes estruturais, adaptabilidade espacial e funcionalidade, aspectos que fundamentam os processos decisórios na concepção arquitetônica de espaços comerciais contemporâneos.

Estratégias Projetuais e Configuração Espacial

As estratégias projetuais adotadas em edificações comerciais, especialmente shopping centers, revelam uma busca constante por eficiência funcional, atratividade estética e estímulo ao consumo. A análise gráfica de plantas, cortes e diagramas de empreendimentos comerciais permitiu identificar elementos recorrentes que se relacionam diretamente com a experiência do usuário no espaço. Entre os aspectos observados, a acessibilidade e a circulação se destacam como pilares centrais da configuração espacial. Projetos de shopping centers costumam privilegiar entradas amplas, múltiplos acessos e fluxos contínuos, com distribuição estratégica de rampas, escadas rolantes e elevadores para conectar diferentes níveis. A setorização clara dos ambientes, com zonas de alimentação, lazer e serviços organizados em núcleos específicos, contribui para a orientação do visitante e para a permanência prolongada no espaço (Rutman, 2015).

Além disso, a visibilidade também se mostra um fator determinante no projeto de edificações comerciais. A organização em torno de grandes átrios centrais ou corredores com pé-direito duplo é uma estratégia recorrente, pois facilita a orientação espacial, proporciona conforto visual e estimula o mapeamento mental do espaço. Somado a isso, a transparência, o uso de grandes aberturas e o controle de luz natural também contribuem para uma percepção mais fluida dos ambientes.

Essas intenções projetuais podem ser percebidas através da representação gráfica, especialmente nas escolhas feitas no desenho arquitetônico. Como destacam Unwin (2013) e Leggitt (2004), os croquis, esquemas e perspectivas são ferramentas essenciais para comunicar as decisões espaciais e testar o impacto das configurações. Assim, a representação torna-se parte integrante do processo projetual, permitindo visualizar relações de escala, proporção e uso, além de expressar as ideias de forma acessível e didática.

Outro ponto relevante é a flexibilidade espacial, especialmente em shoppings de médio e grande porte, que demandam a possibilidade de reconfiguração de áreas para novos usos. A presença de vãos estruturais generosos, mezaninos e paredes removíveis revela um pensamento voltado à adaptabilidade do espaço ao longo do tempo, como uma característica fundamental em edifícios sujeitos a transformações constantes no perfil de seus usuários e no mercado varejista.

Portanto, a análise das estratégias projetuais e da configuração espacial evidencia que os shopping centers não são apenas espaços de consumo, mas ambientes desenhados para otimizar fluxos, potencializar permanência e promover experiências sensoriais. Dessa forma, a qualidade do projeto, aliada à clareza na representação gráfica, é um fator determinante para o sucesso funcional e comercial dessas edificações.

Estudo de Caso: Visitas Técnicas e Medições Acústicas no Natal Shopping

Com o intuito de aprofundar a análise dos aspectos construtivos e projetuais em edificações comerciais, foi realizado um estudo de caso no Natal Shopping, localizado em Natal/RN. O foco, além de conhecer as áreas técnicas que

precisam existir para garantir a manutenção e a funcionalidade do empreendimento - como as docas e os corredores de circulação do material das lojas - foi analisar as condições acústicas internas em um espaço de grande uso coletivo: a praça de alimentação. A escolha desse ambiente se deu por sua relevância funcional e pela alta concentração de usuários, o que o torna um ponto crítico para análise de conforto acústico.

As medições foram realizadas como atividade prática da disciplina de Avaliação Pós-Ocupação da pós-graduação, utilizando equipamentos específicos para a coleta dos índices utilizados para aferir o som. Foram selecionados pontos estratégicos dentro da praça de alimentação, abrangendo áreas centrais, cantos laterais e proximidades de acesso. Os dados foram coletados em três dias diferentes, permitindo observar variações nos níveis sonoros conforme o fluxo de pessoas e as condições de uso do espaço. As aferições seguiram protocolos técnicos, garantindo registros consistentes dos níveis médios e máximos de ruído, horários e condições ambientais. Os resultados revelaram que os níveis sonoros frequentemente ultrapassam 75 dB nos horários de maior movimento, evidenciando a necessidade de estratégias acústicas mais eficazes nesse tipo de ambiente.

Com isso, a análise dos dados permite relacionar diretamente o desenho arquitetônico e a escolha dos materiais construtivos com o desempenho acústico observado. Conforme apontam Ching, Onouye e Zuberbuhler (2015), o entendimento dos sistemas construtivos e suas implicações no desempenho ambiental é fundamental para a concepção de espaços funcionais e eficientes.

Esse diagnóstico reforça a importância de considerar o conforto acústico desde as etapas iniciais do projeto arquitetônico, sobretudo em ambientes coletivos com intensa ocupação. Estratégias como o uso de forros acústicos, painéis absorventes, mobiliários que auxiliem na quebra das ondas sonoras e o emprego de materiais com maior capacidade de absorção devem ser integradas às decisões de projeto, como também discutem Kowaltowski et al. (2011). Desse modo, as medições realizadas na praça de alimentação do Natal Shopping demonstram como os aspectos construtivos influenciam diretamente a qualidade ambiental dos espaços comerciais, e reforçam a necessidade de práticas projetuais mais sensíveis às demandas de conforto dos usuários.

Perspectivas para o Desenvolvimento do Ebook e Continuidade da Pesquisa

O desenvolvimento do ebook é uma das etapas mais significativas da pesquisa, reunindo textos, imagens e análises produzidas ao longo do estudo. Até o momento, alguns professores já concluíram e enviaram seus respectivos capítulos, abordando temas que vão desde fundamentos teóricos da arquitetura comercial — com a apresentação de diferentes tipos de empreendimentos inseridos no âmbito da arquitetura comercial e das formas de definição do produto arquitetônico, incluindo capítulos sobre comércio de ruas, feiras e mercados; centros comerciais e shopping centers; e desafios de gestão de projetos — até conteúdos voltados à concepção arquitetônica propriamente dita,

com capítulos sobre pré-dimensionamento e programação arquitetônica; tipos de mall, contemplando morfologia e fluxos; fachadas ativas e urbanidade; racionalização, estruturas e sistemas construtivos; segurança predial; conforto térmico, acústico e lumínico; paisagismo; sustentabilidade ambiental; e ambiências e acessibilidade nos projetos. Outros capítulos encontram-se em fase de elaboração, devendo incorporar resultados mais recentes e interpretações ampliadas.

A visita técnica ao Natal Shopping, com a realização das medições acústicas na praça de alimentação, representa uma contribuição direta para os capítulos relacionados ao desempenho ambiental e aos aspectos construtivos em espaços coletivos. Esse material permitirá ilustrar, com dados concretos, as implicações do projeto arquitetônico na experiência dos usuários, agregando valor à argumentação e à fundamentação de diferentes seções do ebook digital. Além disso, o processo de elaboração do material favorece a integração de múltiplos olhares de docentes, discentes e pesquisadores externos sobre a arquitetura de edificações comerciais. Essa abordagem colaborativa amplia o alcance e a relevância da publicação, transformando-a em uma referência para estudos futuros e servindo como base para novas investigações sobre tendências e desafios construtivos em shopping centers.

O avanço desta etapa, portanto, não apenas consolida os resultados já obtidos, como também estabelece pontes para a continuidade da pesquisa, seja por meio de publicações complementares, seja pelo aprofundamento em aspectos ainda pouco explorados.

Conclusão

Portanto, a investigação desenvolvida permitiu compreender, de forma integrada, como os aspectos construtivos influenciam as decisões projetuais em edificações comerciais de médio e grande porte, com ênfase no estudo de shopping centers. Ademais, é válido salientar como os objetivos traçados pela pesquisa são relevantes para a exploração aprofundada das variadas dimensões que moldam o design e a funcionalidade desse tipo de edifício. O estudo de caso no Natal Shopping demonstrou que, além da estética e da funcionalidade, as decisões construtivas impactam diretamente no desempenho ambiental e na experiência do usuário. Esses resultados reforçam a importância de incorporar, desde a fase de projeto, estratégias de conforto acústico que não comprometam a estética e a funcionalidade.

Como contribuição prática, o trabalho resultou na organização de um acervo gráfico e textual, que poderá servir como material de referência para arquitetos, engenheiros e estudantes interessados na concepção de espaços comerciais. A consolidação desse conteúdo em formato de ebook amplia seu potencial de alcance e facilita a integração com outros estudos realizados pelo grupo de

pesquisa, incluindo capítulos elaborados por diferentes autores que exploram temas correlatos.

Assim, os resultados aqui apresentados não apenas evidenciam a relevância dos aspectos construtivos no desempenho e na percepção dos espaços comerciais, mas também indicam caminhos para que projetos futuros sejam mais eficientes, confortáveis e adaptáveis, alinhando-se às exigências contemporâneas de qualidade arquitetônica e sustentabilidade.

Referências

CHING, Francis D. K. **Técnicas de construção ilustradas**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CHING, Francis D. K.; ONOUYE, Barry S.; ZUBERBUHLER, Douglas. **Sistemas estruturais ilustrados: padrões, sistemas e projeto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DOMINGUES, Fernando. **Croquis e perspectivas**. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2011.

EISSEN, Koos; STEUR, Roselien. **Sketching: técnicas de desenho para designers de produto**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

GARREFA, Fernando. **Shopping centers: de centro de abastecimento a produto de consumo**. São Paulo: Senac São Paulo, 2011.

HUTCHISON, Edward. **O desenho no projeto da paisagem**. São Paulo: Gustavo Gili, 2012.

KOWALTOWSKI, D. K. et al. **O processo de projeto em arquitetura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LEGGITT, Jim. **Desenho de arquitetura: técnicas e atalhos que usam tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

LIMA, Hélio Costa. **Tectônica é uma disciplina, uma área ou uma abordagem?** In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 2., 2012, Natal. Anais [...]. Natal, 2012.

ODEBRECHT, Silvia. **Projeto arquitetônico: conteúdos técnicos básicos**. Blumenau: Edifurb, 2006. 128 p.

RUTMAN, Jacques. **Shopping center e lojas: design e arquitetura.** São Paulo: JJ Carol, 2015.

SILVA, Elvan. **Uma introdução ao projeto arquitetônico.** 2. ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, 1998.

TRAVIS, Stephanie. **Sketching para arquitetura e design de interiores.** São Paulo: Gustavo Gili, 2015.

UNWIN, Simon. **A análise da arquitetura.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

VARGAS, Heliana Comin. **Espaço terciário: o lugar, a arquitetura e a imagem do comércio.** São Paulo: Senac São Paulo, 2001.

VOORDT, Theo J. M. Van Der; WEGEN, Herman B. R. Van. **Arquitetura sob o olhar do usuário: programa de necessidades, projeto e avaliação de edificações.** São Paulo: Oficina dos Textos, 2013.

CÓDIGO: HS0376

AUTOR: RAFAEL ARAÚJO DE FARIAS

ORIENTADOR: GLEICE VIRGINIA MEDEIROS DE AZAMBUJA ELALI

TÍTULO: Percepção de crianças do ensino fundamental II sobre suas condições de convívio com a natureza

Resumo

A crescente urbanização e degradação ambiental restringem o contato das crianças que vivem na cidade com a natureza. Para compreender como estudantes do Ensino Fundamental II de escolas municipais de Natal/RN percebem sua relação com o ambiente natural, a pesquisa usou questionários que investigaram suas concepções sobre natureza, níveis de conexão, vivências escolares e comportamento pró-ambiental. Esse plano de trabalho focalizou a análise estatística descritiva dos dados, examinando perfis dos participantes e as dimensões sensoriais e afetivas de sua conexão com a natureza. Os resultados indicaram que os participantes percebem escassez de áreas naturais e arborização próximas às suas residências. Apesar disso, demonstram vínculo emocional e ético com a natureza, associados ao bem-estar em espaços ao ar livre e à empatia com animais, embora essa conexão nem sempre represente comportamentos sustentáveis cotidianos. Gênero e idade influenciaram as percepções, verificando-se maior sensibilidade ambiental das meninas. Enquanto o avanço da idade trouxe uma relação mais complexa com a natureza, menos vinculada às vivências práticas da infância.

Palavras-chave: Conexão com a natureza. Crianças. Educação. Urbanização. Ambiente.

TITLE: Children's Perception of Their Coexistence with Nature in Middle School

Abstract

The growing urbanization and environmental degradation restrict the contact of children living in the city with nature. To understand how students from Middle School in municipal schools of Natal/RN perceive their relationship with the natural environment, this research used questionnaires that investigated their conceptions of nature, levels of connection, school experiences, and pro-environmental behavior. This work plan focused on the descriptive statistical analysis of the data, examining the participants' profiles and the sensory and affective dimensions of their connection with nature. The results indicated that the participants perceive a scarcity of natural and wooded areas near their homes. Despite this, they demonstrate an emotional and ethical bond with nature, associated with well-being in outdoor spaces and empathy towards animals,

although this connection does not always translate into daily sustainable behaviors. Gender and age influenced perceptions, with girls showing greater environmental sensitivity. While increasing age brought a more complex relationship with nature, less tied to the practical experiences of childhood.

Keywords: Connection to nature. Children. Education. Urbanization. Environment.

Introdução

A intensificação do processo de urbanização e a crescente degradação ambiental nas últimas décadas têm transformado significativamente a forma como as crianças se relacionam com a natureza, sobretudo em contextos urbanos, onde o contato direto com o meio ambiente vem se tornando cada vez mais restrito. Como resposta a esse cenário, tem crescido o interesse por estudos que investigam as condições de convívio das crianças e adolescentes com a natureza.

Esse interesse relaciona-se a diversos fatores, como aponta Richard Louv (2016/2008) em *A Última Criança na Natureza*, ao alertar para as consequências do afastamento infantil de parques, praças e áreas verdes, que prejudica o desenvolvimento, a saúde física, emocional e a subjetividade das crianças. Christensen e O'Brien (2003) reforçam a necessidade de que as cidades disponham de espaços para a brincadeira, enquanto Brooker e Woodhead (2012) complementam afirmando que o direito ao brincar depende do ambiente em que ocorre, sendo efetivamente assegurado apenas em espaços adequados e de qualidade.

No Brasil, pesquisadores de diversos campos de conhecimento vem alertando para essas questões, desde os estudos pioneiros realizados por Lima (1989), França (1994) e Campos-de-Carvalho e Rubiano (1996), até atividades mais recentes desenvolvidas por grupos de pesquisa em todo o país, a exemplo dos trabalhos de Elali (2003), Tomás (2006), Kuhnen et al (2008), Luz et al (2013), Lima (2015), Oliveira et al (2018), Peres et al (2019), Lacerda Júnior et al (2022), Profice et al (2022), Rolim et al (2022), Albuquerque et al (2024), Higuchi (2024), Higuchi et al (2024), entre outros. Nesse contexto, a escola desempenha um papel essencial, considerando-se que, durante a infância e adolescência, ela constitui um dos principais espaços de socialização e vivência do brincar, sobretudo em contextos mais vulneráveis, nos quais as famílias enfrentam dificuldades de diversas ordens (desde econômicas e de segurança até a disponibilidade de tempo) para oferecer oportunidades consistentes de contato das crianças com a natureza. Apesar desse entendimento, Pato (2022) destaca que muitas instituições de ensino também não têm condições de assumir essa tarefa, o que, além de trazer problemas para a saúde física e mental de crianças e adolescentes, compromete a formação de vínculos afetivos dos estudantes com a natureza e enfraquece o desenvolvimento de uma relação mais profunda com o ambiente. A fim de investigar a questão, a pesquisadora e equipe estão desenvolvendo uma pesquisa nacional sobre o tema, que acontece simultaneamente em 6 cidades brasileiras. É justamente nessa pesquisa maior que o projeto desenvolvido pela orientadora deste plano de trabalho se insere. O grupo busca, especificamente: identificar o entendimento dos estudantes sobre o conceito de “natureza” e seus níveis de conexão com ambientes naturais; compreender

as vivências educativas nas escolas que envolvem aproximação com o meio natural; e identificar as implicações dessas experiências nos níveis de conexão com a natureza e no comportamento pró-ambiental dos participantes.

No Rio Grande do Norte o recorte espacial da investigação é a cidade de Natal, RN, havendo a participação de cinco escolas municipais, localizadas em suas quatro zonas urbanas, nas quais foi investigada a percepção de crianças do Ensino Fundamental II sobre suas condições de convívio com a natureza por meio da realização de entrevistas com professores, da aplicação de questionários com estudantes maiores, e entrevistas com crianças não alfabetizadas. Nesse contexto, o plano de trabalho do bolsista teve como objetivo realizar a análise estatística descritiva dos dados coletados por meio dos questionários, a fim de examinar perfis dos participantes e dimensões sensoriais e afetivas de sua conexão com a natureza, que foram associados à idade e ao gênero dos participantes e à localização das escolas.

Metodologia

As atividades realizadas pelo bolsista responsável por esse plano de trabalho dão continuidade à etapa anterior de pesquisa, na qual aconteceu a aplicação de questionários e descrição inicial dos dados coletados, sendo necessário aprofundar a análise da grande quantidade de informações geradas, especialmente em relação aos estudantes do Ensino Fundamental II.

O questionário aplicado investigou aspectos demográficos e socioeconômicos, uso do tempo livre, hábitos e atitudes relacionadas à sustentabilidade, além da relação das crianças com a natureza e sua percepção ambiental. Sua aplicação ocorreu em cinco escolas municipais de Natal/RN: Josefa Botelho, localizada em Ponta Negra (EM1); Professor Ulisses de Góis, em Nova Descoberta (EM2); Juvenal Lamartine, no Alecrim (EM3); Celestino Pimentel, em Cidade da Esperança (EM4); e Maria Madalena, no Potengi (EM5). No total participaram 351 crianças e adolescentes (contabilizadas apenas as respostas válidas). A partir dos dados obtidos, foi construído um banco de dados em planilhas, os quais subsidiaram as etapas subsequentes da pesquisa, tanto em âmbito local (RN), quanto nacional.

No nível local, a análise dos dados utilizou estatística descritiva em ambiente Excel/Windows, empregando tabelas dinâmicas para cruzar informações e, a partir delas, tentar compreender as percepções dos estudantes. Medidas como média, moda e desvio padrão foram calculadas para caracterizar a amostra. As análises iniciais focaram no perfil demográfico e socioeconômico dos participantes (idade, série, moradores por residência e percepção de renda familiar). Em seguida, o estudo investigou a relação das crianças com a natureza, abordando respostas a escalas de conexão sensorial e emocional com o ambiente, hábitos de sustentabilidade e compreensão da

interdependência ambiental. Para contextualizar algumas percepções, a localização das escolas nos diferentes bairros da cidade também foi considerada.

O estudo tem aprovação nacional do Comitê de Ética em Pesquisa.

Resultados e Discussões

O questionário aplicado obteve 351 respostas válidas de crianças e adolescentes, permitindo traçar um panorama do perfil demográfico, socioeconômico e perceptivo da amostra em relação à natureza e ao ambiente em que vivem.

Em relação à idade dos participantes, os dados foram organizados em três agrupamentos para melhor compreensão das tendências etárias: Agrupamento 1 (8, 9 e 10 anos), Agrupamento 2 (11, 12 e 13 anos) e Agrupamento 3 (14, 15, 16 e 17 anos). A média e a moda etária dos participantes foram de 11 anos, com maior concentração no Agrupamento 2. A distribuição por gênero foi equilibrada, com leve predominância feminina (183 meninas – 52,20%). Observou-se uma redução no número de estudantes nas faixas etárias mais elevadas, sendo que 16 alunos (4,56%) estavam acima da idade esperada para o Ensino Fundamental II. Observou-se também uma redução de alunos nas séries mais avançadas, especialmente entre os meninos, possivelmente devido ao ingresso precoce no mercado de trabalho. Os meninos, possivelmente devido ao ingresso precoce no mercado de trabalho.

No aspecto socioeconômico, a média de moradores por domicílio foi de 4,37 (moda 3), valor superior às médias nacional (2,79), estadual (2,88) e municipal (2,86) divulgadas pelo IBGE (2023), o que pode indicar contextos de menor renda. A maioria dos participantes se classificou na faixa de renda média (204 respostas), seguida da mínima (92), alta (38), e os que não responderam (17). Observou-se que domicílios com cinco ou mais moradores foram mais frequentes entre aqueles que se identificaram com renda mínima ou média, reforçando a correlação entre densidade habitacional e menor renda percebida. Vale destacar que essa percepção pode não refletir com precisão a realidade econômica da família, uma vez que crianças e adolescentes podem entender o contexto familiar a partir de filtros diferenciados ou em relação a situações ainda mais vulneráveis.

Sobre a presença de árvores no entorno das residências, dos 351 participantes, 328 responderam a esta questão, registrando-se 23 abstenções. Os dados revelam que a percepção geral é de baixa arborização, com as categorias "Poucas" ou "Nunca" sendo as mais frequentes. No Agrupamento 1 (8 a 10 anos), que teve 85 respostas válidas, a maioria das crianças (43, representando 50,59% deste grupo) relatou "nunca" ver árvores, enquanto 28 (32,94%) percebem "poucas" e apenas 14 (16,47%) "muitas". No Agrupamento 2 (11 a 13 anos), com 155 respondentes, a percepção de "poucas" árvores se tornou predominante (70 crianças – 45,16%), enquanto "nunca" foi apontada por 62 (40%) e "muitas" por 23 (14,84%). No Agrupamento 3 (14 a 17 anos), que somou 88 participantes, o padrão foi similar, com "poucas" à frente (43 – 48,86%), seguida por

"nunca" (33 – 37,5%) e "muitas" (12 – 13,64%).

A análise sugere que a percepção de "poucas" árvores se torna mais comum à medida que a idade aumenta. Considerando os agrupamentos etários estabelecidos (onde cada grupo é representado por um valor numérico de 1 a 3), as crianças que percebem "poucas" árvores têm uma média ponderada de 2,11, sendo, portanto, ligeiramente mais velhas do que aquelas que percebem "nunca" (1,93) ou "muitas" (1,96) árvores. A idade média ponderada de todas as crianças participantes do estudo foi de 2,01. Essa tendência pode estar relacionada à maior autonomia de deslocamento e ao contato das crianças com outras áreas da cidade, que as expõe a diferentes níveis de arborização.

Ao cruzar os dados de percepção com os índices oficiais de arborização nos bairros das escolas, fornecidos pela SEMURB com base no Censo 2010 (IBGE), observam-se discrepâncias relevantes. Na EM3 (Alecrim), com o maior índice oficial (54,62%), apenas 18,56% relataram “muitas” árvores, enquanto 53,61% disseram “poucas” e 27,84% “nunca”. Nas escolas EM5 (Potengi) e EM4 (Cidade da Esperança), com índices de 45,96% e 42,22%, respectivamente, a percepção majoritária também foi de ausência: “nunca” (49,43% e 53,52%) e “poucas” (40,23 e 35,21%). Já nas escolas EM1 (Ponta Negra – 30,17%) e EM2 (Nova Descoberta – 17,79%), a percepção foi mais compatível com os dados oficiais: “nunca” (48,57% e 37,50%) e “poucas” (34,29% e 45,83%). Provavelmente esse resultado está mais especificamente relacionado à localização da escola e da moradia dos participantes no bairro, nem sempre próximas a áreas verdes, como aparenta ser o caso do Alecrim, enquanto em Nova Descoberta e Ponta Negra, é possível ver parte dos parques adjacentes mesmo a partir das janelas de algumas salas de aula. Isso evidencia que, além da quantidade, fatores como distribuição e visibilidade das áreas verdes impactam diretamente a percepção das crianças. A relação com a natureza foi avaliada com base em uma escala de sete níveis, agrupados em três categorias: “Levemente conectado” (níveis A e B), “Mais ou menos (ou medianamente) conectado” (C, D e E) e “Completamente conectado” (F e G). Valores mais altos indicam maior proximidade percebida com a natureza. As médias de conexão com a natureza, ponderadas por idade, revelaram oscilações: entre 8 e 10 anos, a média variou entre 2,11 e 2,37; houve queda entre os 12 e os 14 anos (de 2,16 para 1,84, respectivamente), seguida de aumento aos 17 anos (2,33). Essa oscilação pode estar associada à maior exposição à tecnologia e carga escolar na adolescência, que competem com o tempo ao ar livre. Nesta questão, não foi observada diferença significativa entre os gêneros (média geral: 2,11).

A seguir, a análise aprofunda-se em dois blocos principais de questões. O primeiro, com 16 afirmativas, avalia a conexão com a natureza (percepções, sentimentos e crenças), enquanto o segundo, com 6 itens, mede a frequência de comportamentos pró-ambientais cotidianos. Para interpretar os dados de ambos os blocos, foram utilizados três fatores estatísticos: a média (Md), para identificar a tendência central; o desvio padrão (DP), para medir o grau de consenso; e a diferença de gênero (DG), para comparar as médias entre meninos e meninas, sendo cada fator classificado em ordens de grandeza com critérios específicos.

Para o primeiro bloco, que utiliza a escala Likert de cinco níveis, a variação de respostas segue a progressão: 1 significa "Discordo totalmente", 2 "Discordo mais ou menos", 3 "Nem concordo nem discordo", 4 "Concordo mais ou menos" e 5 representa "Concordo

totalmente". Com base nesta escala, a Média (Md) foi classificada como Baixa (3.50 a 3.80), Moderada (3.81 a 4.30) e Alta (acima de 4.30); o Desvio Padrão (DP) como Baixo (abaixo de 1.00), Moderado (1.00 a 1.25) e Alto (acima de 1.25); e a Diferença de Gênero (DG) como Pequena (abaixo de 0.10), Média (0.10 a 0.30) e Grande (acima de 0.30). Seguem os resultados obtidos para estas afirmativas:

A. "Eu gosto de ouvir sons diferentes na natureza.": Média moderada (Md=4,21), moda 5, consenso (DP=0,93 - Baixo) e diferença de gênero pequena (DG=0,01).

B. "Eu gosto de ver flores quando crescem.": Média moderada (Md=4,12), moda 5, diferença de gênero média (DG=0,29), com maior afinidade feminina, e consenso (DP=1,07 - Moderado)

C. "Quando me sinto triste, eu gosto de ir para fora e apreciar a natureza.": Média baixa (Md=3,79), moda 5, diferença de gênero grande (DG=0,48) a favor das meninas e consenso (DP=1,24 - Moderado).

D. "Eu me sinto em paz quando estou em um lugar com natureza.": Média alta (Md=4,33), moda 5, diferença de gênero média (DG=0,24) e consenso (DP=0,98 - Baixo).

E. "Eu gosto de praticar jardinagem (plantar/regar/cuidar das plantas).": Média baixa (Md=3,50), moda 5, diferença de gênero grande (DG=0,53), consenso (DP=1,36 - Alto).

F. "Colecionar pedrinhas e conchas é legal.": Média moderada (Md=3,90), moda 5, diferença de gênero grande (DG=0,39), consenso (DP=1,31 - Alto).

G. "Eu me sinto feliz quando estou ao ar livre.": Média alta (Md=4,58), moda 5, diferença média (0,24) e consenso (DP=0,85 - Baixo).

H. "Fico triste quando animais selvagens são feridos (sem ser cachorro ou gato)": Média moderada (Md=4,15), moda 5, diferença de gênero grande (DG=0,33), consenso (DP=1,34 - Alto).

I. "Gosto de ver animais selvagens vivendo num ambiente não poluído.": Média alta (Md=4,54), moda 5, diferença de gênero pequena (DG=0,02) e consenso (DP= 1,02 - Moderado).

J. "Eu gosto de tocar animais e plantas.": Média alta (Md=4,31), moda 5, diferença de gênero média (0,29), consenso (DP=1,04 - Moderado).

K. "Cuidar de animais é importante para mim (todos, inclusive cachorro e gato).": Média alta (Md=4,66), moda 5, diferença de gênero média (DG=0,12), consenso (DP= 0,79 - Baixo).

L. "Humanos são parte do mundo natural.": Média moderada (Md=4,13), moda 5, diferença de gênero média (DG=0,19), consenso (DP=1,09 - Moderado).

M. "As pessoas não podem viver sem plantas e animais.": Média alta (Md=4,43), moda

5, diferença de gênero média (DG=0,29), consenso (DP=1,11 - Moderado).

N. "O que eu faço vai modificar o ambiente natural.": Média moderada (Md=3,97), moda 5, diferença de gênero média (DG=0,25), consenso moderado (DP=1,18).

O. "Coletar lixo do chão pode ajudar o ambiente.": Média alta (Md=4,59), moda 5, diferença de gênero pequena (0,04), desvio padrão moderado (DP=1,03).

P. "As pessoas não têm o direito de mudar o ambiente natural.": Média moderada (Md=3,97), moda 5, sem diferença significativa entre gêneros (DG=0,03), consenso alto (DP=1,43).

Esses resultados revelam uma pertinente conexão emocional e ética dos participantes com a natureza, com destaque para sentimentos de bem-estar ao ar livre (afirmativas D e G) e cuidado com os animais (afirmativas I e K). As variações de gênero indicam que meninas tendem a apresentar maior sensibilidade e afinidade com atividades naturais (afirmativas C, E, F e H). Já a dispersão nas respostas a questões mais abstratas e comportamentais (afirmativas E, F, H e P) sugere que aspectos como empatia ambiental e responsabilidade pessoal ainda estão sendo construídos pelos participantes.

Além das diferenças de gênero, a análise foi aprofundada para investigar como a idade influencia essas percepções. Para isso, foram utilizados os três grupos etários (8 a 10, 11 a 13, e 14 a 17 anos), e a média de resposta (Md) de cada grupo foi calculada para todas as afirmativas. Esse cruzamento permitiu observar os padrões de mudança na relação com a natureza conforme os estudantes amadurecem.

Essa análise por idade revelou um fato interessante: a conexão com a natureza não necessariamente diminui, mas se transforma. Fica claro que o entendimento sobre o meio ambiente se torna mais complexo com o tempo. A noção de que "as pessoas não podem viver sem plantas e animais" (afirmativa M) e a consciência sobre o impacto das próprias ações (afirmativa N) crescem junto com os alunos, com as médias subindo, respectivamente, de 4,24 para 4,46 e de 3,84 para 4,00 entre o grupo mais novo e o mais velho. Ao mesmo tempo, interesses mais práticos da infância perdem espaço, como mostra a queda acentuada no gosto por "praticar jardinagem" (afirmativa E), que diminui de uma média de 3,62 no grupo mais novo para 3,24 no mais velho. A própria visão ética se torna mais flexível; a ideia radical de que "as pessoas não têm o direito de mudar o ambiente" (afirmativa P) é mais forte no grupo de 8 a 10 anos (Md=4,00) e se ameniza com a idade (Md=3,85). A pré-adolescência (11-13 anos) despontou como uma fase de forte idealismo, atingindo os picos de concordância no desejo de "ver animais em um ambiente não poluído" (afirmativa I; Md=4,62) e na compreensão de que "humanos são parte do mundo natural" (afirmativa L; Md=4,14). Por fim, a apreciação de detalhes, como "ouvir os sons da natureza" (afirmativa A), mostrou ser um gosto que se aprimora sutilmente ao longo dos anos, subindo de uma média de 4,10 para 4,28.

Para investigar como o contexto de cada escola influencia a conexão dos alunos com a natureza, a análise foi aprofundada comparando-se as cinco unidades escolares. A abordagem consistiu em identificar, para cada afirmativa, os dois polos da amostra: a escola que apresentou a maior média e aquela com a menor. A análise da amplitude dessa variação entre os extremos permite identificar quais aspectos da relação com a

natureza são mais sensíveis ao ambiente local e quais escolas representam os perfis de conexão mais contrastantes. Para apresentar os dados de forma padronizada, a média de cada escola será referida como (Md).

Esta análise revelou que a qualidade do acesso e o tipo de interação com os espaços verdes são fatores determinantes. O contraste mais nítido foi observado entre a EM2 (Nova Descoberta) e a EM1 (Ponta Negra). A EM2 consistentemente apresentou as maiores médias nas afirmativas, consolidando-se como o polo de maior conexão na análise. A discrepância mais acentuada ocorreu na empatia por animais feridos (afirmativa H), onde a EM2 (Md=4,44) se distanciou significativamente da EM1 (Md=3,61). O padrão se repetiu na compreensão da interdependência ecológica (afirmativa M), com a EM2 (Md=4,69) muito acima da EM1 (Md=4,08). Acredita-se que o fator decisivo seja a qualidade da interação com o Parque da Cidade, que se integra ao bairro e o transforma em um espaço de convivência real. Esse acesso privilegiado parece catalisar uma consciência ecológica elevada, refletida nos picos de empatia por animais feridos (afirmativa H; Md=4,44), na compreensão da interdependência ecológica (afirmativa M; Md=4,69) e em questões de maior complexidade ética (afirmativa P; Md=4,38).

Em oposição direta, a EM1 (Ponta Negra) revelou a conexão mais fragilizada. Embora geograficamente próxima a uma área de mata, esta corresponde à base militar murada e inacessível da "Barreira do Inferno". Essa ausência de interação real, somada ao intenso contexto urbano, explica por que a escola registrou as menores médias em 9 das 16 afirmativas.

Um perfil de “valorização da escassez” emergiu na EM3 (Alecrim). Sendo a escola com a menor área física, seus alunos registraram os maiores picos de todas as unidades em “sentir-se feliz ao ar livre” (afirmativa G; Md=4,61) e em idealismo (afirmativa I; Md=4,71), sugerindo que a ausência de contato pode intensificar o desejo por ele.

A EM4 (Cidade da Esperança), por sua vez, destacou-se em dimensões mais práticas e estéticas, como no gosto por “ver flores” (afirmativa B; Md=4,26), apontando para a possível influência de projetos escolares específicos.

Por fim, a EM5 (Potengi) demonstrou um paradoxo: apesar de possuir a maior área física, apresentou um perfil majoritariamente mediano. Este resultado indica que a mera disponibilidade de espaço, sem uma interação de qualidade ou direcionamento pedagógico, não garante uma conexão mais forte.

Já para o segundo bloco, que mede a frequência de comportamentos, a escala de cinco níveis corresponde a: 0 para "Nunca", 1 para "Raramente", 2 para "Às vezes", 3 para "Frequentemente" e 4 para "Sempre". Para esta escala, as classificações foram ajustadas. A Média (Md) foi definida como Baixa (0 a 1.50), Moderada (1.51 a 3.00) e Alta (acima de 3.00), onde a classificação ‘Baixa’ pode ter interpretação positiva ou negativa a depender do hábito. O Desvio Padrão (DP) foi classificado como Baixo (abaixo de 1.00), Moderado (1.00 a 1.40) e Alto (acima de 1.40), enquanto a classificação para a Diferença de Gênero (DG) seguiu os mesmos critérios do bloco anterior. Os resultados para os comportamentos foram:

I. "Quando não tem lixeira por perto, jogo em qualquer lugar a embalagem que não vou

usar mais." Média Baixa (Md=1,30), Moda 2 (Às vezes), consenso (DP=1,13 - Moderado) e diferença de gênero Média (DG=0,13).

II. "Quando não tem ninguém na sala/quarto, apago as luzes." Média Alta (Md=3,05), moda 4 (Sempre), consenso (DP=1,29 - Moderado) e diferença de gênero Pequena (DG=0,04).

III. "Quando estou escovando os dentes, deixo a água da torneira aberta." Média Baixa (Md=1,04), moda 0 (Nunca), consenso (DP=1,36 - Moderado) e diferença de gênero Grande (DG=0,41)

IV. "Quando tenho vontade de comer alguma coisa, abro a geladeira e fico olhando muito tempo o que tem dentro." Média Moderada (Md=2,26), Moda 4 (Sempre), consenso (DP=1,50 - Alto) e diferença de gênero Média (DG=0,10).

V. "Quando estou tomando banho, desligo o chuveiro para passar sabonete." Média Moderada (Md=2,21), Moda 4 (Sempre), consenso (DP=1,61 - Alto) e diferença de gênero Grande (DG=0,40).

VI. "Quando saio de casa para qualquer lugar levo minha garrafa/meu copo de água." Média Moderada (Md=1,90), moda 0 (Nunca), consenso (DP=1,52 - Alto) e diferença de gênero Grande (DG=0,58).

De maneira geral, os dados revelam que as crianças demonstram certa consciência ambiental em relação a práticas como economia de energia (afirmativa II) e uso racional da água (afirmativas III e V), embora ainda haja comportamentos pouco consistentes e hábitos sustentáveis que não foram plenamente incorporados ao cotidiano (afirmativas I, IV e VI). Por sua vez, as variações de resposta (DP) indicam que essas atitudes não são uniformes, revelando diferenças tanto individuais quanto entre os gêneros.

Para além do gênero, a análise aprofundada por faixa etária revela que a adoção de comportamentos sustentáveis não segue uma progressão linear com o amadurecimento, apresentando um quadro complexo e por vezes contraditório. Alguns hábitos, ao contrário do esperado, pioram com a idade: a prática de jogar lixo no chão (afirmativa I) aumenta do grupo mais novo (Md=1,20) para o mais velho (Md=1,44), e o costume de desligar o chuveiro para se ensaboar (afirmativa V) também diminui com o passar dos anos (de Md=2,27 para Md=2,11). Em contrapartida, outros hábitos mostram uma clara evolução positiva, como o de não deixar a torneira aberta ao escovar os dentes (afirmativa III), prática indesejada que é significativamente menor no grupo de 14 a 17 anos (Md=0,83). A pré-adolescência (11-13 anos) desponta como uma fase de destaque na consolidação de certas práticas, como a de apagar as luzes (afirmativa II), na qual este grupo atinge a maior média (Md=3,18). Essa inconsistência entre os diferentes comportamentos reforça a existência de uma lacuna entre a consciência ambiental, que se mostra mais complexa com a idade, e a ação prática do dia a dia, que é influenciada por fatores diversos como conveniência e normas sociais de cada faixa etária.

Ainda mais revelador, a análise comparativa dos comportamentos entre as escolas demonstrou que o contexto local modula as práticas cotidianas de maneiras complexas. O padrão mais notável que emerge é a inconsistência entre percepção e ação. Fica

evidente que o bom desempenho de uma escola na análise das afirmativas da seção anterior não garante, por si só, os melhores hábitos práticos em todas as áreas.

O exemplo mais claro dessa complexidade é o da EM2 (Nova Descoberta). A mesma escola que apresentou os mais altos índices de concordância nas afirmativas sobre conexão emocional e cognitiva, de fato demonstrou os melhores hábitos em certas áreas, como em apagar as luzes (afirmativa II; Md=3,27) e levar a própria garrafa de água (afirmativa VI; Md=2,15). Contudo, essa mesma escola registrou os piores índices em outros comportamentos, relatando a maior frequência no descarte inadequado de lixo (afirmativa I; Md=1,60) e no desperdício de energia com a geladeira (afirmativa IV; Md=3,15).

Essa dissociação se reflete também em outras escolas. A EM1 (Ponta Negra), que teve um desempenho mais baixo na seção anterior, surpreendeu ao apresentar o melhor comportamento de todas na economia de água ao escovar os dentes (afirmativa III), com a menor média de desperdício (Md=0,75). Da mesma forma, a EM3 (Alecrim) destacou-se por ser a que menos descarta lixo incorretamente (afirmativa I; Md=1,10), e a EM5 (Potengi) por ter o melhor hábito de economizar água no chuveiro (afirmativa V; Md=2,49). Os resultados indicam que os comportamentos pró-ambientais não formam um traço único, mas sim um conjunto de hábitos distintos, moldados por fatores escolares, familiares e social.

Conclusão

Este estudo investigou a percepção de crianças do Ensino Fundamental II sobre suas condições de convívio com a natureza em contextos urbanos, buscando compreender como elas se relacionam com o ambiente natural e quais fatores influenciam essa interação. A partir da análise dos dados obtidos pela aplicação de questionários em escolas municipais de Natal/RN foi possível construir um panorama detalhado do perfil demográfico e socioeconômico da amostra, bem como entender suas concepções e atitudes em relação à natureza.

Os resultados revelam uma realidade urbana contraditória: apesar de uma percepção predominante de baixa arborização no entorno de suas residências, as crianças demonstraram uma boa conexão emocional e ética notável com a natureza. Sentimentos de bem-estar ao ar livre e um forte senso de cuidado com os animais foram amplamente expressos, indicando um potencial intrínseco para o desenvolvimento de uma relação positiva com o meio ambiente. Contudo, a análise dos comportamentos pró-ambientais indicou que essa consciência nem sempre se traduz em práticas sustentáveis consistentes no dia a dia, evidenciando lacunas entre a percepção e a ação. Observou-se, ainda, que fatores como idade e gênero influenciam essas percepções e atitudes, com as meninas apresentando maior sensibilidade e afinidade com a natureza, e oscilações na conexão percebida à medida que as crianças envelhecem.

É fundamental ressaltar que a análise da percepção de arborização foi significativamente limitada pela defasagem dos dados oficiais disponíveis (Censo 2010), o que dificultou uma correlação precisa entre a percepção das crianças e a realidade atual da cobertura verde em seus bairros, que provavelmente se alterou nesse tempo. Essa limitação aponta para a necessidade de informações mais atualizadas para estudos futuros.

Em síntese, o trabalho ressalta o papel crucial da escola como um espaço para fortalecer o vínculo das crianças com a natureza, complementar às vivências familiares e, principalmente, promover a transição da consciência ambiental para a efetivação de hábitos sustentáveis. Ao oferecer um retrato das percepções e comportamentos ambientais dessa faixa etária, este estudo contribui para o embasamento de políticas e programas educacionais que busquem nutrir uma relação mais profunda e proativa das futuras gerações com a natureza.

Referências

ALBUQUERQUE, D.; HIGUCHI, M. I. G.; LUNIERE, G. S.; ELALI, G. A. Observação e identificação de elementos naturais em ambientes escolares. Plural - Revista de Psicologia UNESP Bauru, v. 3, p. e02400n, 2024.

BROOKER, Liz; WOODHEAD, Martin. Healthy Environments. Milton Keynes: The Open University, 2012. 35 p. ISBN 978-1-78007-322-4.

CAMPOS-DE-CARVALHO, M. I.; RUBIANO, M. R. B. . Organização do espaço em instituições infantis. In: Z. M. OLIVEIRA. (Org.). Educação infantil: muitos olhares. São Paulo: Cortez, 1996, p. 107-130.

CHRISTENSEN, P; O'BRIEN, M. Children in the City. Home, Neighbourhood and Com-munity. London: Routledge Falmer, 2003.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E URBANISMO (SEMURB). CONHEÇA MELHOR SEU BAIRRO: ALECRIM. Natal: Prefeitura do Natal, 2012. 21 p.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E URBANISMO (SEMURB).
CONHEÇA MELHOR SEU BAIRRO: CIDADE DA ESPERANÇA. Natal: Prefeitura
do Natal, 2012. 21 p.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E URBANISMO (SEMURB).
CONHEÇA MELHOR SEU BAIRRO: NOVA DESCOBERTA. Natal: Prefeitura do
Natal, 2012. 21 p.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E URBANISMO (SEMURB).
CONHEÇA MELHOR SEU BAIRRO: PONTA NEGRA. Natal: Prefeitura do Natal,
2012. 21 p.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E URBANISMO (SEMURB).
CONHEÇA MELHOR SEU BAIRRO: POTENGI. Natal: Prefeitura do Natal, 2012. 21
p.

ELALI, G. V. M. A. O ambiente da escola - o ambiente na escola: uma discussão sobre
a relação escola-natureza em educação infantil. Estudos de Psicologia v. 8 (2), n.1, p.
309-319, 2003.

FRANÇA, L. C. M. Caos – espaço – educação. São Paulo: Anna Blume, 1994.

HIGUCHI, M. I. G. Contato e Conexão com a Natureza na Infância. In: M. C.

BOCCA, L. CRÍZEL. (Org.). Contato e Conexão com a Natureza: as Crianças, a
Cidade, a Floresta, o Rio e o Mar. 1ed.Caxias do Sul: EDUCS ? Editora da
Universidade de Caxias do Sul, 2024, v. 1, p. 26-34.

HIGUCHI, M. I. G.; GAMA, R.R. ; COSTA, R.R. . A natureza presente nas escolas de
educação infantil. In: J. NOVAIS; I. LAUER-LEITE. (Org.). Contato e Conexão com a
Natureza: as Crianças, a Cidade, a Floresta, o Rio e o Mar. 1ed.Caxias do Sul: EDUCS
? Editora da Universidade de Caxias do Sul, 2024, v. 1, p. 35-57.

KUHNEN, A.; SILVEIRA, S. M. Como crianças percebem, idealizam e realizam o lugar onde moram. *Psicologia USP (Impresso)*, v. 19, p. 295-316, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. 2010. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/universo-caracteristicas-urbanisticas-do-entorno-dos-domicilios>. Acesso em: 16 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. 7 jul. 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/primeiros-resultados-populacao-e-domicilios>. Acesso em: 16 jul. 2025.

LACERDA JÚNIOR, J.C. ; HIGUCHI, M. I. G. ; NORONHA, E.L. As vozes das crianças diante dos desafios socioambientais na cidade. *Cadernos de Pesquisa*, v. 25, p. 177-196, 2022.

LIMA, M. S. *Cidade e a criança*. São Paulo: Nobel, 1989.

LIMA, I. B. *A criança e a natureza: experiências educativas nas áreas verdes como caminhos humanizadores*. Curitiba: Appris Ed., 2015.

LOUV, Richard. *A última criança na natureza: salvando nossas crianças do transtorno de déficit de natureza*. São Paulo: Editora Aquariana, 2016. ISBN: 978-8572171748. (original em inglês, 2008)

LUZ, G.; KUHNEN, A. O uso dos espaços urbanos pelas crianças: explorando o comportamento do brincar em praças públicas. *Psicologia: Reflexão e Crítica (UFRGS. Impresso)*, v. 26, p. 552-560, 2013

OLIVEIRA, L. M. A. N ; COSTA, L. M. M. ; ELALI, G. V. M. A. . Percepção ambiental de estudantes sobre seu bairro. Estudos e Pesquisas em Psicologia (Online), v. 18, p. 445-464, 2018.

PATO, Claudia Marcia Lyra (Coord.). Conexão com a Natureza em Ambientes Escolares da Educação Básica no Brasil. Projeto de pesquisa em desenvolvimento. Edital CNPq nº 40/2022 (Edital Pró-Humanidades). Brasília, 2022. Disponível em:

https://humanamente.fiocruz.br/projetos_aprovados/conexao-com-a-natureza-em-ambientes-escolares-da-educacao-basica-no-brasil/. Acesso em: 15 jul. 2025.

PÉREZ, B. C.; SILVA, B. L. S. R.; COELHO, C. A. V. Infância e Cidade: desafios da participação e da representação. Cadernos de Pesquisa em Educação, Vitória, v.21, n.49, p.81-90, jan./jun., 2019.

PROFICE, c.; MENEZES, S. M.; CASSANO, C. R.; FANDI, A. C.; TONOSAKI, L. M.; SANTOS, I. C. N. A multipotência da terra nas interações criança e ambiente. In: HIGUCHI, M. I. G.; ALBUQUERQUE, D. (Org.). Cronologias nas Relações Pessoa-Ambiente. 1. ed. Curitiba: CRV, 2022, pp. 47- 62.

ROLIM, A. C.; FREZZA, M.; CAVALCANTE, R. Ambientes físicos verdes como espaços promotores de inter-relções potencializados do desenvolvimento infantil. In: HIGUCHI, M. I. G.; ALBUQUERQUE, D. (Org.). Cronologias nas Relações Pessoa-Ambiente. 1. ed. Curitiba: CRV, 2022, pp. 33-46.

TOMÁS, C. A. As crianças como prisioneiras do seu tempo-espaço: do reflexo da infância à reflexão sobre as crianças em contexto global. Currículo sem Fronteiras, v.6, n.1, p.41-55, jan./jun., 2006.

CÓDIGO: HS0628

AUTOR: VICTOR GABRIEL MILITAO DA SILVA

ORIENTADOR: MAISA FERNANDES DUTRA VELOSO

TÍTULO: Levantamento, documentação e análise das pesquisas de pós-graduação na área de Projeto no PPGAU e PPAPMA

Resumo

A consolidação da pesquisa em Projeto de Arquitetura e Urbanismo constitui um campo em constante construção, permeado por debates sobre objetos, métodos e impactos no ensino. Inserida nas comemorações dos 50 anos do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRN, esta pesquisa de Iniciação Científica objetivou levantar, catalogar e analisar a produção no campo do Projeto dos programas *stricto sensu* vinculados ao Departamento de Arquitetura, contemplando as dissertações e teses do programa acadêmico (PPGAU) e do mestrado profissional em Arquitetura (PPAPMA) disponibilizadas no repositório digital da UFRN. Foram catalogados 170 trabalhos, sistematizados em planilhas com dados sobre orientadores, temas, objetos, universos de estudo, abordagens e métodos. Os resultados apontam a diversidade temática e metodológica, revelando a predominância de pesquisas voltadas para análise e avaliação de projetos, conforto ambiental, patrimônio edificado e ensino de projeto. As orientações concentram-se sobretudo em professores com maior experiência e tempo de atuação em pós-graduação. Os universos de estudo predominam no âmbito estadual, em especial Natal, mas também abrangem o Nordeste, o Brasil e contextos internacionais. Ao tratar e analisar os dados, o relatório contribui para a memória institucional do CAU-UFRN e evidencia o papel estratégico da pós-graduação na consolidação da pesquisa em Projeto e na formação de docentes e pesquisadores, ampliando o diálogo com o meio socioprofissional.

Palavras-chave: Projeto de Arquitetura; Pesquisa, Pós-graduação; UFRN.

TITLE: Survey, documentation, and analysis of postgraduate research in the area of Design at PPGAU and PPAPMA

Abstract

The consolidation of research in Architecture and Urbanism Design is a field in constant development, permeated by debates on objects, methods, and impacts on teaching. As part of the celebrations of the 50th anniversary of the

Architecture and Urbanism course at UFRN, this Scientific Initiation research aimed to survey, catalog, and analyze production in the field of Design in stricto sensu programs linked to the Department of Architecture, covering dissertations and theses from the academic program (PPGAU) and the professional master's program in Architecture (PPAPMA) available in the UFRN digital repository. A total of 170 works were cataloged and organized in spreadsheets with data on advisors, themes, objects, study universes, approaches, and methods. The results show thematic and methodological diversity, revealing the predominance of research focused on project analysis, evaluation, environmental comfort, built heritage, and project teaching. The guidance focuses mainly on professors with more experience and time working in graduate studies. The study universes predominate at the state level, especially Natal, but also cover the Northeast, Brazil, and international contexts. By addressing and analyzing the data, the report contributes to the institutional memory of CAU-UFRN and highlights the strategic role of graduate studies in consolidating research in Design and in the training of teachers and researchers, expanding dialogue with the socio-professional environment.

Keywords: Architectural Design; Research; Graduate Studies; UFRN.

Introdução

Conforme destacado no projeto de pesquisa que fundamenta este relatório, intitulado “50 anos do CAU-UFRN: emergência e evolução da pesquisa na área de Projeto e seus rebatimentos no ensino” (PVG21054-2023), atualmente em sua primeira renovação, a pesquisa em Arquitetura e Urbanismo no Brasil consolidou-se tardiamente quando comparada a outras áreas do conhecimento, especialmente no campo de Projeto. A formação inicial dos arquitetos no país, fortemente vinculada às Escolas de Belas Artes, privilegiava o ensino prático e a concepção artística, em detrimento de investigações sistemáticas sobre processos, métodos e impactos do projeto arquitetônico. A regulamentação da profissão em 1933 e a institucionalização dos cursos universitários a partir da década de 1930 marcaram uma mudança, mas o Projeto seguiu sendo muitas vezes compreendido apenas como prática criativa e subjetiva, enfrentando resistências como objeto legítimo de pesquisa científica (Schlee *et al.*, 2010, *apud* Veloso, 2024).

No contexto da UFRN, o curso de Arquitetura e Urbanismo foi criado em 1973, iniciando atividades no ano seguinte. Ao longo de cinco décadas, o curso passou por sucessivas reformas curriculares, com a última – Estrutura Curricular 06 – criada em 2024, e pela consolidação da pós-graduação, especialmente com a criação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) e, posteriormente, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente (PPAPMA). Esses programas foram fundamentais para a inserção do Projeto como campo de pesquisa institucionalizado, contribuindo para a formação de mestres e doutores e para a produção científica que reforça a memória e a identidade do curso.

Com base nisso, o enfoque deste projeto concentrou-se no levantamento e sistematização de dissertações e teses, vinculadas à área de Projeto, dos programas mencionados acima, permitindo identificar recorrências temáticas, abordagens metodológicas e universos de estudo. Ao mesmo tempo, buscou-se interpretar esses resultados à luz dos 50 anos do curso, compreendendo a pesquisa como parte estruturante da formação acadêmica e da consolidação do Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DARQ/UFRN).

Assim sendo, o presente relatório apresenta as principais atividades do bolsista vinculado ao Plano de Trabalho “Levantamento, documentação e análise das pesquisas na área de Projeto nos 50 anos do CAU-UFRN”, de uma pesquisa que se insere em uma reflexão mais ampla sobre a institucionalização da pesquisa em Projeto no Brasil e sobre a relevância de recuperar e analisar dados da produção científica local. Essa iniciativa contribui tanto para a memória do curso quanto para o debate sobre a consolidação da Arquitetura como campo científico, evidenciando o papel estratégico da pós-graduação e de seus docentes no fortalecimento dessa trajetória (Veloso, 2024).

Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento das atividades referentes ao plano de trabalho que embasa este relatório envolveu um grande percurso de documentação de dados *online*, centrada no levantamento e sistematização da produção *stricto sensu* vinculada ao campo do Projeto de Arquitetura nos programas de pós-graduação do CAU-UFRN, iniciando com uma abordagem quantitativa para, posteriormente, chegar a um momento de investigação qualitativa. O escopo incluiu dissertações do mestrado acadêmico (PPGAU), teses do doutorado (PPGAU) e trabalhos de conclusão do mestrado profissional (PPAPMA), disponibilizados no repositório digital (BDTD/UFRN).

O procedimento metodológico adotado foi estruturado em duas etapas fundamentais. A primeira etapa consistiu na coleta de informações sobre a produção dos três cursos junto ao BDTD. Para organizar esse levantamento, recorreu-se à ferramenta de busca disponível na plataforma, com o filtro “por data de publicação”, o que permitiu seguir a ordem cronológica das dissertações e teses depositadas. Essa etapa não se restringiu apenas à observação das informações disponíveis na página inicial de cada trabalho. Optou-se, também, pela verificação direta dos documentos originais, o que possibilitou a conferência detalhada de informações como título, autoria, orientadores, palavras-chave e resumo. Essa dupla checagem teve como objetivo identificar possíveis inconsistências entre os dados apresentados no sistema e aqueles efetivamente registrados no corpo do trabalho, assegurando, assim, informações mais confiáveis.

A coleta resultou na elaboração de uma planilha digital no Excel, disponibilizada em formato *online* para facilitar o acesso e a atualização

contínua. Nessa tabela, foram sistematizados 170 trabalhos, devidamente organizados segundo os campos de interesse definidos para a análise no segundo momento, que contemplavam: data e ano de depósito; orientador; co-orientador; discente autor do trabalho; título; resumo/objetivos; palavras-chave; tema; especificação de outro tema quando houvesse dupla vinculação; objeto de estudo; universo de estudo; abordagem/método; instrumentos de pesquisa; e, link do trabalho no repositório.

A etapa posterior correspondeu à análise e interpretação dos dados organizados. Foram considerados aspectos quantitativos, como frequência de orientações por docente e distribuição de temas, por parte do autor deste relatório, e qualitativos, realizados pelos professores vinculados à pesquisa, como a identificação dos suportes teóricos e metodológicos mais recorrentes, dentre outros aspectos. Assim, a metodologia adotada garantiu tanto a sistematização objetiva das informações quanto a possibilidade de uma leitura mais aprofundada sobre os significados e impactos da produção do CAU-UFRN.

Resultados e Discussões

O levantamento das dissertações e teses revelou um quadro consistente da produção vinculada à área de Projeto de Arquitetura no CAU-UFRN. Aqui serão apresentados os dados quantitativos produzidos pelo estudante bolsista autor deste relatório, como mencionado na metodologia. Os dados evidenciam tanto a consolidação de linhas temáticas específicas quanto a centralidade de determinados docentes como orientadores, o que pode estar relacionado com os grupos de pesquisa existentes, assim como seu tempo de atuação nos programas.

No mestrado do PPGAU, a distribuição das orientações destaca a liderança de duas docentes: Maísa Veloso com 19 trabalhos orientados e Gleice Azambuja Elali com 17. Esse número expressivo revela não apenas o engajamento individual, como também os anos de imersão na pesquisa. Em seguida, aparecem Marcelo Tinoco (10 orientações), Natalia Miranda (7) e outros docentes com menor número de orientações. Essa concentração demonstra a relevância de grupos de pesquisa, uma vez que a maioria está ou esteve vinculado ao Grupo Projetar, ao mesmo tempo em que sugere a necessidade de ampliar a participação de outros docentes, mais recentes nos programas, na orientação. As teses de doutorado do PPGAU apresentam padrão semelhante, com destaque novamente para Gleice Elali (13 orientações) e Maísa Veloso (11). No nível de doutorado, a centralização das orientações é ainda mais clara, reforçando a posição desses docentes na consolidação da pesquisa.

Figura 01 - Distribuição dos orientadores do PPGAU nos dois níveis

Fonte: Autoria própria, 2025

No mestrado profissional (PPAPMA), a distribuição de orientações é mais equilibrada, embora Maísa Veloso novamente figure entre os principais nomes, com oito orientações, ao lado de Gleice Elali (7), Clewton Nascimento (7), Eunádia Cavalcante (7) e Glauce Lilian Alves (7). Esse quadro revela que o caráter aplicado do mestrado profissional favorece uma participação mais ampla de docentes, o que pode ser associado à diversidade de demandas práticas e à inserção profissional dos discente.

Figura 02 - Distribuição dos orientadores do PPAPMA

Fonte: Autoria própria, 2025

Quanto às linhas temáticas, o PPGAU no nível de mestrado apresenta clara predominância da “Análise e Avaliação de Projeto” (25 ocorrências em dupla vinculação), seguida de “Projeto e Patrimônio” (9) e “Ensino de Projeto” (8). Essas escolhas refletem o diálogo entre a tradição acadêmica de estudo crítico do projeto e as demandas contemporâneas de preservação e ensino. Temas como acessibilidade, representação, percepção do ambiente e conforto ambiental também aparecem com relevância, revelando a abertura da pesquisa para questões sociais, tecnológicas e ambientais. No doutorado, destacam-se “Percepção do Ambiente” e “Ensino de Projeto” (7 ocorrências cada), além de “Projeto e Representação” (6) e “Análise e Avaliação de Projeto” (6). Esse perfil sugere que os estudos ao nível mais avançado exploram tanto os fundamentos metodológicos quanto os impactos pedagógicos e perceptivos do projeto.

Figura 03 - Distribuição das linhas temáticas de pesquisa do PPGAU nos dois níveis

Fonte: Autoria própria, 2025

O PPAPMA evidencia uma forte concentração em “Projeto e Conforto Ambiental” (27 ocorrências), seguido por “Projeto e Tecnologia da Construção” (10) e “Projeto e Patrimônio” (9). Esse perfil indica a vocação aplicada do programa, voltada para a resolução de problemas práticos, como desempenho térmico e sustentabilidade, sem perder de vista a preservação do patrimônio ambiental e edificado. A diversidade de temas recorrentes nesse programa, incluindo flexibilidade arquitetônica e representação reforça essa característica.

Figura 04 - Distribuição das linhas temáticas de pesquisa do PPAPMA

Fonte: Autoria própria, 2025

O universo de estudo dos trabalhos também é um destaque importante. No mestrado acadêmico do PPGAU, há nítida concentração em Natal (36 estudos) e no Rio Grande do Norte (20), embora também apareçam investigações de alcance regional (20) e nacional (6), além de quatro estudos em contexto internacional. O mestrado profissional aprofunda esse enraizamento local, com 31 trabalhos sobre Natal e 17 sobre o estado, mas apresenta poucas pesquisas em escala nacional ou internacional. Já no doutorado do PPGAU, observa-se maior abertura geográfica: 10 estudos de abrangência nacional, 9 regionais e 5 em cooperação Brasil-Portugal, além de trabalhos em outros países. Essa ampliação no doutorado sugere um amadurecimento da pesquisa e dos pesquisadores, que dialogam com realidades mais amplas e internacionais.

Figura 05 - Universo de pesquisa do PPGAU nos dois níveis

Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 06 - Universo de pesquisa do PPAPMA

Fonte: Autoria própria, 2025

De modo geral, os dados apontam para três tendências principais. A primeira é a centralização das orientações em um núcleo específico de docentes, que garantem a continuidade das linhas de pesquisa em Projeto no CAU-UFRN. A segunda é a diversidade temática, que articula questões clássicas, como análise de projeto e ensino, com problemáticas emergentes, como acessibilidade, conforto ambiental e tecnologia da construção. A terceira é a predominância de estudos localizados no Rio Grande do Norte, sobretudo em Natal, o que evidencia a função da pesquisa como resposta a contextos próximos, mas também aponta a necessidade de ampliar os diálogos em escala nacional e internacional, ampliando o universo de determinadas temáticas.

Esses resultados permitem afirmar que a pesquisa em Projeto no CAU-UFRN encontra-se consolidada como campo de produção científica, especialmente a partir da atuação do PPGAU e do PPAPMA. No entanto, também indicam desafios, como a necessidade de maior distribuição das orientações entre

docentes e o incentivo a investigações de maior alcance territorial. Entretanto, como apontado anteriormente, essa questão da distribuição dos professores orientadores pode estar mais relacionada com o tempo de atuação de cada docente nos programas, o que vai diminuindo à medida em que novos doutores são formados e contratados por meio de concurso.

Por fim, os dados confirmam a relevância do Projeto como eixo estruturador da formação, pois os temas predominantes dialogam diretamente com a prática pedagógica e com a realidade profissional.

Conclusão

O levantamento das dissertações e teses vinculadas à área de Projeto nos programas de pós-graduação do CAU-UFRN revelou um cenário de consolidação da pesquisa na instituição, marcado por concentração docente, diversidade temática e forte enraizamento no Estado, principalmente na cidade de Natal. O protagonismo de determinados orientadores evidencia a importância dos grupos de pesquisa, como o Grupo Projetar, para sustentar e dar continuidade às linhas de investigação, enquanto a variedade de temas reflete a amplitude e complexidade dos desafios do campo do Projeto.

A predominância de estudos voltados para Natal e o Rio Grande do Norte mostra o compromisso da pesquisa com sua realidade imediata, ao mesmo tempo em que os trabalhos de abrangência nacional e internacional, mais frequentes no doutorado, apontam para a necessidade de ampliar os diálogos externos.

Ademais, os resultados contribuem para a memória dos 50 anos do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRN, fortalecendo a compreensão de que a pesquisa em Projeto desempenha papel essencial na formação de arquitetos e urbanistas e na consolidação acadêmica do campo.

Referências

VELOSO, Maísa Fernandes Dutra. **50 anos do CAU-UFRN: emergência e evolução da pesquisa na área de Projeto e seus rebatimentos no ensino.** Projeto de pesquisa (Iniciação Científica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

SCHLEE, Mônica Cristina; MOREIRA, Clarissa Duarte; GUERRA, Maria Lucia Malard. **A pesquisa em projeto de arquitetura no Brasil: notas para**

reflexão. Cadernos PROARQ, Rio de Janeiro, n. 17, p. 11–26, 2010. Apud VELOSO, 2024.

Anexos



Figura 01 - Distribuição dos orientadores do PPGAU nos dois níveis



Figura 02 - Distribuição dos orientadores do PPAPMA



Figura 03 - Distribuição das linhas temáticas de pesquisa do PPGAU nos dois níveis



Figura 04 - Distribuição das linhas temáticas de pesquisa do PPAPMA



Figura 05 - Universo de pesquisa do PPGAU nos dois níveis



Figura 06 - Universo de pesquisa do PPAPMA

CÓDIGO: HS0763

AUTOR: LARISSA DOS SANTOS LIMA

ORIENTADOR: BERNARDO NASCIMENTO SOARES

TÍTULO: Pesquisa em Acervo

Resumo

A pesquisa investiga a formação e as origens das ocupações informais em Natal e o processo de favelização, desde o final do século XIX até 1964, considerando processos de exclusão, segregação socioespacial e expansão urbana desordenada. Após o primeiro recorte (1890-1930), que identificou os primeiros vestígios de favelas, o estudo avançou para 1931-1964, analisando periódicos digitais como O Diário de Natal, A Ordem e O Poti. As ocorrências foram catalogadas e classificadas em cinco níveis de relevância, permitindo identificar padrões de assentamentos irregulares e expansão, e representações midiáticas sobre moradia e pobreza, consolidando base histórica para análises futuras, incluindo o período pós-1964.

Palavras-chave: Natal. Favela. História. Assentamentos informais. Urbanização

TITLE: Archival research

Abstract

The research investigates the formation and origins of informal settlements in Natal and the process of favela development from the late 19th century to 1964, considering processes of exclusion, socio-spatial segregation, and unplanned urban expansion. Following the first temporal scope (1890–1930), which identified the earliest traces of favelas, the study advanced to 1931–1964, analyzing digital newspapers such as O Diário de Natal, A Ordem, and O Poti. The occurrences were cataloged and classified into five levels of relevance, allowing the identification of patterns of irregular settlements and expansion, as well as media representations of housing and poverty, providing a historical basis for future analyses, including the post-1964 period.

Keywords: Natal. Favela. History. Newspapers. Informal settlement. Urbanization.

Introdução

As configurações socioespaciais da capital norte rio-grandense, foram sendo construídas do final do século XIX e ao longo do século XX, com base nas dinâmicas de exclusão e segregação verificadas no processo de urbanização das cidades capitalistas do Brasil. Acompanhado a esse processo surgem os primeiros vestígios de ocupações semelhantes às favelas, investigadas no primeiro recorte da presente pesquisa (1890-1930).

Após o primeiro recorte temporal (1890-1930), o estudo avançou para o período de 1931 a 1964, iniciado no primeiro semestre de 2025. Este recorte é marcado por mudanças populacionais e expansão urbana desordenada, refletindo transformações socioeconômicas significativas.

O acesso aos periódicos, inicialmente, constituiu desafio metodológico: grande parte do jornal A República está em acervo físico, e em processo de mudança. Entretanto, os jornais disponíveis em meios digitais como Diário de Natal, A Ordem e O Poti possibilitaram a análise de ocorrências relevantes. A investigação concentrou-se na busca do termo “favela” – ausente no primeiro recorte – e termos relacionados a habitações precárias e nomes de localidades específicas, permitindo localizar espacialmente as ocupações informais.

As ocorrências foram catalogadas em planilha organizada por ano, periódico, data, título, página, conteúdo, base de dados, arquivo e link, incluindo identificação de imagens. Para sistematizar a análise, foram definidos cinco níveis de relevância, desde menções diretas a favelas até registros gerais de pobreza, irregularidade e condições habitacionais.

Apesar das limitações nos acervos físicos, e alguns percalços nos acervos digitais, o material coletado permitiu identificar padrões de ocupação urbana, expansão populacional e representações midiáticas sobre moradia e precariedade. Essa etapa consolida o levantamento histórico e documental, fornecendo base sólida para a análise dos resultados e futuras etapas escrita da pesquisa, incluindo o recorte pós-1964.

Metodologia

Passado o primeiro recorte temporal da presente pesquisa, teve início, a partir do primeiro semestre de 2025, o segundo recorte, abarcando o período de 1931 a 1964. Para esse segundo recorte, houve dificuldade de acesso ao periódico A República, grande parte do qual encontra-se apenas em acervo físico e sob responsabilidade do Arquivo Público do

Estado Rio Grande do Norte. Esse obstáculo decorreu devido a transferência do acervo para outro espaço, cuja reorganização não fora concluída até o mês de agosto do ano atual.

Todavia, alguns periódicos estão disponíveis em formato digital, o que contribuiu para a análise deste segundo recorte da pesquisa. Entre os disponíveis, foi possível encontrar no site do Laboratório de Imagens da UFRN (LABIM), o jornal Diário de Natal, que começou a circular em 1939, com alguns anos em falta, mas que foi possível encontrar alguns anos complementares no site da BN digital (Biblioteca Nacional Digital), na seção Hemeroteca Digital Nacional. Neste último portal, foi possível acessar também os jornais A ordem, disponível a partir de 1935, e O poti, com edições de 1954 a 1969, contemplando uma década da pesquisa.

Diante dos periódicos disponíveis analisados dentro do recorte temporal, tivemos um déficit nos cinco primeiros anos da década de 1930. É possível que o acervo físico do Jornal A República, contemplasse esses anos, visto que o jornal estava em circulação nesse período.

Para a análise das colunas dos jornais selecionados, foram estabelecidos filtros de busca que delimitaram o foco do estudo. Entre os termos pesquisados — tanto no singular quanto no plural — destacam-se: favela(s), casebre(s), choupana(s), cabana(s), mocambo(s), casinha(s), palhoça(s), casinhola(s), cortiço(s), barraco(s) e favelado(s). Além disso, foram realizadas buscas diretas pelos nomes de localidades específicas, como: Paço da Pátria, Carrasco, Rocas, Maruim, Areial, Brasília Teimosa, Mosquito, Jacó e Alto do Juruá.

Com a aplicação desses termos nos filtros, tornou-se possível selecionar as seções dos jornais relevantes à pesquisa. Para organizar e sistematizar essas ocorrências, foi elaborada uma planilha — a exemplo do primeiro recorte — destinada à catalogação das edições analisadas. Sua estrutura contempla os seguintes campos: ano, nome do periódico, data, título, página, conteúdo, base de dados (de onde foi obtido), nome do arquivo e link de acesso. Recentemente, foi inserida uma nova coluna destinada à identificação de imagens, considerando que, sobretudo a partir da década de 1950, intensifica-se a presença de fotografias nos jornais examinados. (figura 1)

Destacamos também as relevâncias, no qual atribuímos 5 tipos que contribuem para a pesquisa. São elas:

Relevância (1) - Menção a "favela(s)" em Natal.

Relevância (2) - Identificação de casebres, choupanas, cabanas, barracos, cortiços (agrupamento) no espaço da cidade.

Relevância (3) - Identificação de casebre, choupana, cabana, barraco (isoladamente) no espaço da cidade.

Relevância (4) - Identificação de situações de irregularidade, pobreza, atividades relacionadas à força de trabalho, seca e/ou retirantes, eventos criminais, de aforamento, ações de saúde pública, atreladas a determinada área ou ocupação.

Relevância (5) - Menções gerais - Condições de crise habitacional, pobreza, atividades relacionadas à força de trabalho, seca e/ou retirantes, eventos criminais, ações de saúde pública, entre outros, não atreladas a ocupação.

Resultados e Discussões

Apesar das limitações encontradas na consulta ao acervo físico, a pesquisa não foi comprometida. O acervo digital disponível possibilitou a realização de buscas diretas a partir dos termos previamente selecionados. Apenas o período de 1930 a 1935 não pôde ser investigado, pois somente o jornal A República circulava à época. Nos anos de 1940 e 1941, o jornal A Ordem não apresentou ocorrências relevantes relacionadas aos termos pesquisados, enquanto o Diário de Natal, que também circulava nesse intervalo, não estava disponível, situação que se repetiu para os anos de 1955 e 1956. Em contrapartida, para este último período, o jornal O Poti encontrava-se acessível, permitindo a identificação de diversos recortes significativos para a pesquisa.

Ao contrário dos anos analisados anteriormente (1890 a 1930), nos quais não se verificou nenhuma ocorrência direta do termo favela associado a comunidades da cidade de Natal, foi possível identificar esse uso em períodos posteriores, sendo a primeira referência datada de 1944. Nessa reportagem, o autor emprega diversos outros termos — como mansarda, mocambos, choças, palhoças, palheiros e barracões — para designar a formação das favelas natalenses em torno de uma delimitação espacial que confirma alguns assentamentos informais observados no recorte anterior, entre os bairros das Rocas, Alecrim, “Guarita” e até as imediações da ponte de Igapó, este último considerado novo para a pesquisa, pressupondo a formação da comunidade do Mosquito.

Além desse registro mais antigo, considerado como relevância 1, foram identificadas outras 32 ocorrências semelhantes, principalmente nas décadas de 1950 e 1960 (figura 2). Algumas delas fazem referência a um local denominado ora “Favela do Morro”, ora “Morro da Favela” e, posteriormente, já no fim da década de 1950, “bairro Aparecida”. Atualmente, essa área corresponde às mediações do bairro de Mãe Luiza e às ruas Teófilo Brandão e Maj. Afonso Magalhães, em Petrópolis/Tirol, de acordo com informações relatados com registros da época. Outras menções relacionam-se a construções informais erguidas tanto em terrenos públicos quanto privados, como no caso da formação de Brasília Teimosa, marcada por tensões violentas entre moradores e guardas municipais. Também aparecem denúncias de vizinhos sobre aglomerados de casebres localizados em ruas do perímetro urbano, descritos como lugares associados à promiscuidade, doenças e criminalidade, considerado a formação de uma favela na visão dos autores das colunas. (figura 3)

Foram ainda identificadas 81 ocorrências de relevância 2, sobretudo nas décadas de 1940 e 1950. Esses períodos coincidem com a Segunda Guerra Mundial e seus desdobramentos, que, segundo Bentes Filho (2023) resultaram em significativo aumento populacional em Natal. A cidade recebeu um grande contingente de militares e migrantes flagelados das secas advindos do interior do estado, em busca de melhores condições de vida, o que agravou a crise de abastecimento e de moradia, culminando em uma expansão

urbana desordenada voltada aos interesses privados do mercado imobiliário. Utilizando dados de recenseamento obtidos pelo IBGE em 1940, Bentes Filho, verifica que a população da cidade dobrou no intervalo de uma década (BENTES FILHO, 2023, p.209).

Essas duas décadas de maiores ocorrências contrapõem os argumentos identificados no início da pesquisa, como os de Itamar de Souza (2008), que aponta o surgimento das primeiras favelas de Natal apenas entre as décadas de 1950 e 1960, em consonância com o Relatório da Situação das Favelas de Natal, elaborado pelo Instituto de Planejamento Urbano de Natal (NATAL, 1987). No entanto, as análises referentes às décadas de 1930 e 1940, somadas aos vestígios de formações homólogas observados em períodos anteriores, em acervos fotográficos e jornalísticos, refutam tais referências. Até mesmo o emprego do termo ‘favela’, mais abertamente utilizado nos jornais nas décadas de 1950 e 1960, pode ter contribuído para tais afirmações. O que permanece implícito são os demais termos empregados, que remetem ao objeto de estudo.

Os achados de segunda relevância são numerosos e, em síntese, revelam a formação de novas ocupações informais em diversas áreas da cidade, como Carrasco, Brasília Teimosa, Igapó, Comunidade do Jacó, Alto do Juruá, Esplanada Silva Jardim e Bom Pastor. Em outros registros, reafirmam-se as condições de pobreza e habitações precárias, bem como denúncias de descaso do poder público em localidades como Passo da Pátria, Favela do Morro de Petrópolis, Rocas, Rua do Motor, Canto do Mangue, Areial, Quintas e partes do Alecrim. Também se observam casos de terrenos públicos e privados sendo invadidos para a construção de moradias humildes, além de desapropriações motivadas por obras públicas, como a pavimentação e a construção de um canal nas Rocas, especialmente na Rua Hildebrando de Góis e suas imediações, fato recorrente nos três jornais analisados. Outras colunas são extremamente radicais e preconceituosas, condenando essas moradias, na maior parte utilizando o termo “mocambos”, como lugares que impedem o progresso da cidade e mais um conjunto de mazelas que relacionam a essas habitações e seus moradores.

As notícias de relevância 3, 4 e 5 aparecem em menor número (figura 2), mas demandam uma análise mais aprofundada, a ser realizada nos próximos meses da pesquisa, visando melhor refinamento e atribuição — assim como algumas ocorrências classificadas como de segunda relevância. A maior parte, no entanto, enquadra-se adequadamente no grau de relevância definido, restando dúvidas apenas quanto a determinadas localidades que hoje pertencem ao perímetro urbano, mas cuja condição à época não é totalmente clara. Outros achados dizem respeito a registros de menor impacto, relacionados a episódios de violência nas áreas pesquisadas ou a eventos naturais, como incêndios e chuvas, que afetaram moradias precárias.

Durante o semestre, a pesquisa também foi impactada por instabilidades nos acervos digitais consultados, que em alguns momentos ficaram indisponíveis, limitando o tempo dedicado às buscas nos jornais e à catalogação dos achados. Apesar disso, foi possível reunir um quantitativo significativo de materiais, com resultados consistentes, que servirão de base para o desenvolvimento de uma escrita relacionada a bibliografia sobre o tema.

Conclusão

O segundo ano da pesquisa ratifica os resultados alcançados no primeiro, evidenciando que os espaços de segregação em Natal se apresentavam de forma marcadamente delimitada. De um lado, os bairros de residência das classes dominantes, como Tirol e Petrópolis; de outro, os bairros populares, como Alecrim e Rocas. Com a expansão da cidade e o acelerado crescimento populacional a partir da década de 1940, intensificado pela chegada de migrantes e pelas transformações urbanas ligadas ao contexto da Segunda Guerra Mundial, novos espaços de moradia popular foram se consolidando, a exemplo do bairro das Quintas, entre outros espaços informais nos arrabaldes da cidade.

Observa-se ainda que, mesmo dentro de áreas tradicionalmente associadas à elite, surgiram zonas de ocupação precária, em locais que pareciam impróprios para habitação. Um exemplo emblemático é a chamada Favela no Morro, em Petrópolis/Tirol, registrada em todos os jornais analisados para esse período. Essa ocorrência revela não apenas a complexidade da expansão urbana, mas também a presença de processos de segregação social e espacial que se manifestavam tanto em áreas periféricas quanto em interstícios dos bairros de elite, tensionando a lógica de ordenamento urbano e a imagem de progresso propagada pela cidade.

Assim, a pesquisa encerra mais um ano com avanços significativos para a reconstrução da trajetória das favelas em Natal. Os resultados alcançados neste ano, não apenas problematizam leituras consolidadas sobre o surgimento das favelas natalenses, como também ampliam o debate sobre as representações sociais construídas em torno dessas comunidades. Esse conjunto de evidências constitui, portanto, uma contribuição relevante para o aprofundamento das discussões historiográficas e urbanísticas. Este estudo segue agora para a produção escrita, dando continuidade à pesquisa e contemplando os anos subsequentes que serão objeto do próximo recorte temporal (1964-1990).

Referências

BENTES FILHO, Giovanni Roberto Protásio. Entre o rio e o mar, Rocas: de bairro sinônimo de inferno a bairro da tradição e da cultura popular (1900-1950). 2023. Tese (Doutorado em História) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós-Graduação em História, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

NATAL. Secretaria Municipal de Planejamento. Instituto de Planejamento Urbano de Natal. Relatório de Situação das Favelas de Natal. Natal, 1987

SOUZA, Itamar de. Nova História de Natal. Natal: Departamento Estadual de Imprensa, 2008.

Anexos



Figura 1 -Catálogo de Reportagens



Figura 2 - Resultados por década



Figura 3 - Alguns exemplos de recortes catalogados

CÓDIGO: HS0798

AUTOR: JESSICA MIKAELLY DA SILVA GOMES

ORIENTADOR: LUCIANA DE MEDEIROS

TÍTULO: Diagramas projetuais em trabalhos de conclusão de curso de mestrados profissionais.

Resumo

Esse trabalho tem como objetivo refletir sobre o uso de diagramas no processo de projeto em Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs) de Mestrados Profissionais em Arquitetura e Urbanismo, com foco em seis programas de pós-graduação. Nesse sentido, os diagramas destacam-se como estratégias importantes para projetar e comunicar ideias, tanto no contexto profissional quanto acadêmico. A pesquisa, de natureza exploratória e qualitativa, foi desenvolvida em quatro etapas, incluindo: revisão bibliográfica e compreensão dos anos anteriores, construção de uma ficha, leitura dos MPs e preenchimento e sistematização e análise dos dados das fichas. Os resultados mostram o emprego de diagramas para exposição de conceitos, diagnóstico de contextos e organização de relações espaciais. No entanto, observa-se que os diagramas raramente são usados como ferramentas ou estratégia projetual e que um raciocínio diagramático propriamente dito, como instrumento ativo de análise e tomada de decisão, ainda é pouco explorado. Conclui-se que há uma subutilização do potencial crítico e criativo dos diagramas, indicando a necessidade de maior reflexão sobre seu papel na formação e na prática projetual contemporânea.

Palavras-chave: Projeto arquitetônico; diagramas; mestrados profissionais.

TITLE: Project diagrams in professional master's degree final projects.

Abstract

This paper aims to reflect on the use of diagrams in the design process in Master's Degree Projects (TCCs) for Professional Master's programs in Architecture and Urban Planning, focusing on six graduate programs. In this sense, diagrams stand out as important strategies for designing and communicating ideas, both in professional and academic

contexts. The exploratory and qualitative research was developed in four stages, including: literature review and understanding of previous years, construction of a form, reading the PMs and completing, and systematizing and analyzing the data from the forms. The results demonstrate the use of diagrams for presenting concepts, diagnosing contexts, and organizing spatial relationships. However, it is observed that diagrams are rarely used as design tools or strategies, and that diagrammatic reasoning itself, as an active instrument of analysis and decision-making, remains underexplored. The conclusion is that the critical and creative potential of diagrams is underutilized, indicating the need for greater reflection on their role in contemporary design education and practice.

Keywords: architectural design; diagrams; professional master's.

Introdução

O diagrama não é uma ferramenta recente, sua utilização remonta às civilizações antigas, evidenciando sua longa trajetória como instrumento de representação e análise. No entanto, apesar de sua ampla aplicação ao longo da história, o conceito de "diagrama" não apresenta uma definição unânime na literatura. Essa imprecisão terminológica decorre das distintas interpretações propostas por diferentes autores, que variam conforme o contexto e a abordagem teórica adotada.

Quando o diagrama passou a ser visto como uma ferramenta de análise, segundo Duarte (2012), o diagrama era visto como:

“Um código discursivo que organiza a realidade para sua utilização, seu entendimento mais básico é para o controle, do layout da planta para o controle do usuário, cujo princípio operacional foi funcionalizar o espaço e ‘espacializar’ a função.”

Entretanto, o autor faz uma crítica pós-moderna à rigidez ideológica do modernismo também direcionou seu olhar para o diagrama. Para ele, um nome importante para entender o processo de transformação do termo diagrama foi Peter Eisenman que, em sua tese “The Formal Basis of Modern Architecture”, revolucionou esse debate ao ressignificar o uso dos diagramas, articulando forma e linguagem arquitetônica. Seu trabalho não apenas superou os dilemas da arquitetura moderna, mas também introduziu uma nova concepção de diagrama – não mais determinista ou linear, mas como um campo aberto a interpretações. Dessa forma, vários autores passaram a ter as suas próprias definições do termo, não sendo possível chegar a um consenso.

Já na contemporaneidade, com o avanço da tecnologia digital e novas abordagens teóricas, os diagramas deixaram de ser meras ilustrações para se tornarem ferramentas ativas no processo de projeto (Montaner, 2017). Os diagramas se tornaram ferramentas indispensáveis no processo arquitetônico. Visto que, eles não apenas simplificam a complexidade do projeto, mas também funcionam como uma ponte entre ideias abstratas e sua materialização concreta.

Assim, essa pesquisa busca entender como os diagramas são utilizados em projetos de Mestrado Profissional (MP) em Arquitetura e Urbanismo (AU), especialmente nos Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs). Ao analisar seu papel nesses contextos, a pesquisa pretende mostrar como eles contribuem para organizar o pensamento projetual e conectar a teoria à prática. Além disso, o trabalho visa enriquecer a discussão sobre estratégias de representação na arquitetura, reforçando a importância dos mestrados profissionais na formação de arquitetos.

Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas. Na primeira etapa, realizou-se uma revisão bibliográfica abrangente, abarcando livros, artigos científicos e teses que discutem os diagramas — suas classificações, funções e aplicações na arquitetura. Além disso, analisaram-se produções derivadas dos anos anteriores da investigação, o que permitiu compreender sua motivação e o percurso metodológico até o estágio atual. Nessas fases anteriores, a seleção dos trabalhos dos MPs em AU foi feita por meio de uma busca na plataforma SUCUPIRA/CAPES (<https://sucupira.capes.gov.br>), com a intenção de localizar os destaques da última avaliação quadrienal da área (2017/2020), o que resultou na seleção de 24 trabalhos de 6 PPGs de MPs.

Na segunda etapa, o estudo voltou-se para a construção de uma ficha que serviu de base para a análise dos TCCs. A elaboração da ficha teve como inspiração um instrumento semelhante produzido por Scharff (2015) e os tipos de diagramas definidos por Porter (1997), reunindo também informações sobre o projeto, como título, autor, ano de publicação, entre outros dados. Por meio do preenchimento da ficha, foi possível identificar em quais etapas do processo o autor utiliza diagramas e se essa denominação é utilizada. Também foi possível registrar os tipos de desenhos, seus elementos e um texto de apoio que auxilia tanto na classificação do tipo de diagrama quanto na identificação do tipo de desenho, ou seja, se pode ser classificado como um diagrama, mesmo sem essa denominação explícita. O foco dessa etapa foi investigar como os diagramas são utilizados pelos mestrandos.

A leitura completa dos TCCs destaques e o preenchimento das fichas analíticas fizeram parte da terceira etapa da pesquisa e incluíram os seguintes Programas de Mestrado Profissional:

- PPAPMA - Programa de pós-graduação em Arquitetura, Projetos e Meio Ambiente;
- PGPP - Mestrado Profissional em Projeto e Patrimônio;
- MPCC - Programa de Pós-graduação em Ciências da Cidade;
- PPGAUD - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Urbanismo e Design;
- MPAP - Mestrado Profissional em Arquitetura Paisagística;
- CECRE - Mestrado Profissional em Conservação e Restauração de Monumento e Núcleos Históricos.

Por fim, na quarta etapa, as informações coletadas foram sistematizadas e discutidas sob diferentes perspectivas acerca da função dos diagramas na arquitetura. O estudo evidenciou que esses recursos gráficos são fundamentais tanto no planejamento quanto na comunicação projetual, atuando como ferramentas essenciais no processo criativo e na materialização de conceitos arquitetônicos.

Resultados e Discussões

Após o preenchimento e a análise das fichas, foi possível extrair diversos resultados e tópicos para reflexão, conforme pode ser visualizado a seguir:

- O PPAPMA tem como foco central o projeto arquitetônico, seus suportes tecnológicos e sua relação com o meio ambiente. Os diagramas encontrados nos trabalhos analisados são utilizados tanto para exposição de ideias, como para estudo dos fluxos e acessos nos estudos preliminares. Uma parte dos diagramas que antecedem a solução final dos projetos ilustram conceitos ou sequências metodológicas do trabalho ou da proposta projetual.
- Já os MPs como PGPP e CECRE são voltados para o patrimônio e restauro de monumentos e núcleos históricos. Os diagramas utilizados pelos projetistas tratam de quesitos como localização das edificações, sequência de realização das propostas, fluxos, apresentação do edifício a ser restaurado, síntese das propostas ou exposição dos problemas a serem resolvidos. Ou seja, são diagramas voltados para o diagnóstico da área ou apresentação do projeto.
- O MPCC envolve principalmente atividades associadas às áreas de planejamento, gestão e relações sociais da cidade e ciências e tecnologias de cidades. Considerando a amostra analisada de TCCs desse MP, verifica-se um

uso mais tímido dos diagramas, sendo a maior parte voltada para a metodologia da elaboração do TCC e não para a proposta urbana/arquitetônica em si. Observa-se a presença de diagramas com simulações, que tratam do impacto da inserção de um edifício na cidade ou exposição acerca de como uma determinada mudança afeta a qualidade do espaço.

- O PPGAUD é voltado para o planejamento, aprimoramento e realização de intervenções nos campos da arquitetura, urbanismo e design. Dos 4 trabalhos analisados foi encontrado apenas um diagrama que recebeu essa classificação pelo autor, mas se refere a um esquema gráfico com a estrutura metodológica da pesquisa.
- O MPAP tem foco no projeto paisagístico e sustentabilidade, com TCCs bastante ricos quanto aos recursos diagramáticos utilizados para explicar a área de intervenção ou solução proposta. Os diagramas encontrados são esquemáticos e de fluxo, representando as atividades a serem executadas, sua localização e seu fluxo, assim como a conexão existente entre as mesmas.

De modo geral, após análise dos dados e compreensão da utilização dos diagramas a partir dos TCCs analisados, é possível dizer que os tipos de diagramas mais utilizados e suas funções incluem: esquemático (utilizado para expor conceitos, sequência metodológica ou apresentação ou síntese do objeto de estudo); analítico (análise do terreno, entorno, edificação ou qualquer fase ligada ao diagnóstico); funcional (trabalhar disposição dos ambientes e relações de proximidade) e fluxo (mostra fluxos, sejam eles de acesso, cronologia, conexão ou apresentação do projeto).

Além disso, é interessante ressaltar que a palavra "diagrama" ainda gera certa confusão, muitas vezes sendo confundido com conceitos como croquis, esquemas, fluxogramas, organogramas e até mesmo com o partido arquitetônico. Essa ambiguidade revela que não há uma definição exata para esse recurso gráfico. Por isso, é comum que quase qualquer representação gráfica seja, em algum momento, interpretada como diagramática, mesmo que o autor não tenha essa intenção.

Apesar do conflito entre os termos, há uma diferença considerável entre o croqui e o diagrama. Para Suárez et al. (2015) e Montaner (2017), o croqui traz informações a respeito da forma e os diagramas não necessariamente. Os diagramas têm um caráter mais subjetivo e conectam dados e informações menos definidos, por isso mais abstratos. Entretanto, a ambiguidade do diagrama não está apenas na possibilidade de confusão com o termo croqui, mas no fato de exercer um duplo papel: permite ajudar a interpretar fenômenos arquitetônicos, urbanos e territoriais (função analítica ou explicativa); ou são utilizados como ferramentas de criação, para propor soluções (função operativa) (Montaner, 2017). Já a respeito da sua classificação existem diversos tipos, mas todos estão alinhados com essa ambiguidade do diagrama.

Conclusão

Os diagramas são ferramentas poderosas na concepção de projetos, capazes de sintetizar relações complexas e comunicar ideias de forma ágil. No entanto, pesquisas preliminares sobre seu uso em trabalhos de conclusão de curso (TCC) de mestrados profissionais em Arquitetura e Urbanismo (AU) revelam uma lacuna significativa: embora apareçam nominalmente em imagens ao longo dos documentos, raramente são explicitados como estratégia ou método de apoio ao projeto. Além disso, percebe-se uma falta de consenso terminológico, o que alguns chamam de croqui, outros denominam esquema ou diagrama, evidenciando diferentes entendimentos sobre esse recurso gráfico.

Apesar de sua potencialidade, poucos trabalhos exploram um pensamento diagramático propriamente dito, ou seja, a capacidade de utilizar diagramas não apenas como ilustrações, mas como instrumentos ativos de análise e tomada de decisão. Eles poderiam, por exemplo, revelar forças projetuais, relações socioespaciais ou mesmo a dinâmica de fenômenos urbanos, indo além da simples representação formal. Essa subutilização é paradoxal, uma vez que os diagramas são recursos versáteis, capazes de integrar múltiplas variáveis, desde aspectos técnicos até questões sociais e ambientais, em diferentes etapas do processo criativo.

Os achados desta pesquisa são fundamentais para fomentar novas investigações sobre o tema, incentivando uma aplicação mais crítica e consciente dos diagramas no ensino e na prática projetual. Afinal, em um mundo cada vez mais dinâmico e interconectado, ferramentas que articulam clareza, rapidez e profundidade analítica são indispensáveis para a Arquitetura e o Urbanismo do século XXI.

Referências

BARROS, M. R. F. M. Instituto dos cegos da Paraíba Adalgisa Cunha: proposta arquitetônica de reforma e ampliação com foco na acessibilidade e orientabilidade. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

BARKI, J. Diagrama como discurso visual: uma velha técnica para novos desafios. In: 8º DoCoMoMo Brasil. Anais... Rio de Janeiro, 2009. Disponível em <https://docomomobrasil.com/course/8-seminario-docomomo-brasil-rio-de-janeiro/>

CARVALHO, N. M. A. Entre Fazenda Fortaleza de Sant'Anna e Assentamento Dênis Gonçalves: Projeto de conservação, restauração e reabilitação do conjunto edificado da sede. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Conservação e Restauração de Monumentos e Núcleos Históricos). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

Dissertação (mestrado) - Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

DUARTE, Rovenir Bertola. Radicalizando por diagramas. Por favor, devagar no mar agitado das novidades. Arquitectos, São Paulo, ano 12, n. 143.06, Vitruvius, abr. 2012.

LIMA, T. F. dos S. Arquitetura em bambu, projeto para o oceanário da APA costa dos corais. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

MONTANER, J. M. Do diagrama às experiências, rumo a uma arquitetura de ação. São Paulo: Gustavo Gili, 2017.

OTREMBA, G. S. Intervenção em arquitetura moderna: restauração e qualificação do Hospital Santa Terezinha. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Conservação e Restauração de Monumentos e Núcleos Históricos) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

PORTER, T. The Architect's Eye: visualization and depiction of space in architecture. Londres: E & FN Spon, 1997.

SCHARFF, T. D. Diagramas de partido arquitetônico: um estudo comparativo entre concursos estudantis de arquitetura e trabalhos finais de graduação.

SIQUEIRA NETO, C. M. Escola Municipal Edgar Morin: anteprojeto arquitetônico de uma escola pública de ensino fundamental inclusiva em Ceará Mirim/RN. 2019.

SUAREZ, E. S.; LABORY, E. G. Croquis y diagramas en momentos iniciales del diseño arquitectónico. In: EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, n. 26, p. 58-67, 2015.

VELEZ. U. H. Parque urbano como espacio libre compartido: Alternativas para la apertura de espacios libres de carácter cerrado. Dissertação (Mestrado Profissional em Arquitetura Paisagística) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Anexos



Figura 1: Ficha de análise.



Figura 2: Funcionograma.



Figura 3: Diagrama de análise de condicionantes.



Figura 4: Diagrama de distribuição dos usos.



Figura 5: Diagrama conceitual



Figura 6: Diagrama esquemático.

CÓDIGO: HS0852

AUTOR: LUIS FELIPE GOMES GUILHERME

ORIENTADOR: ANGELA LUCIA DE ARAUJO FERREIRA

TÍTULO: Epidemias e Território: redes técnicas, cidades e conflitos sanitários
(1877-1977)

Resumo

Este relatório apresenta as atividades desenvolvidas no âmbito do projeto Territórios em (des)estruturação: conflitos climáticos e sanitários na relação técnica-natureza (1877-1977), vinculado ao Grupo de Pesquisa HCUrb/UFRN. A investigação buscou compreender, em perspectiva histórica, a interação entre redes técnicas, urbanização e saúde pública, considerando como os processos de transformação territorial influenciaram a disseminação de epidemias. Foram realizadas revisões bibliográficas, levantamento e análise de fontes históricas, bem como discussões em grupo. Os resultados indicam que uma porção significativa das epidemias estiveram diretamente relacionadas às redes de circulação, em especial às ferrovias, além de evidenciarem o papel das condições socioeconômicas e ambientais na conformação de cidades insalubres. A experiência contribuiu para a formação acadêmica, desenvolvendo habilidades de pesquisa, análise crítica e produção científica.

Palavras-chave: Geografia da Saúde; Epidemias; Território; Urbanização;
Técnica-Nature

TITLE: Epidemics and Territory: technical networks, cities and health conflicts
(1877-1977)

Abstract

This report presents the activities developed within the scope of the project "Territories in (De)structuring: Climate and Health Conflicts in the Technique-Nature Relationship (1877-1977), affiliated with the HCUrb/UFRN Research Group. The research sought to understand, from a historical perspective, the interaction between technical networks, urbanization, and public health, considering how processes of territorial transformation influenced the spread of epidemics. Literature reviews, a survey and analysis of historical sources, and group discussions were conducted. The results indicate that a significant portion of epidemics were directly related to circulation networks, especially

railways, in addition to highlighting the role of socioeconomic and environmental conditions in shaping unhealthy cities. The experience contributed to academic development, developing research skills, critical analysis, and scientific production.

Keywords: Health Geography; Epidemics; Territory; Urbanization; Technique-Nature

Introdução

As epidemias, enquanto fenômenos sociais e espaciais, não podem ser compreendidas apenas em sua dimensão biológica. Elas são expressão das condições territoriais, técnicas e socioeconômicas de cada período histórico. Como afirma Santos (2006), o espaço é resultado da interação entre técnica, tempo e sociedade, o que torna possível analisar os surtos epidêmicos como processos ligados à organização do território e à dinâmica da urbanização.

No Brasil, entre o final do século XIX e meados do século XX, a expansão das redes ferroviárias, as políticas de combate às secas e os projetos de modernização urbana contribuíram para a intensificação da circulação de pessoas e mercadorias, ao mesmo tempo em que potencializaram a difusão de doenças. Estudos de Benchimol e Silva (2008) demonstram a relação entre a construção ferroviária e a malária, enquanto Nobre (2016) associa a interiorização da hanseníase ao traçado das ferrovias.

No Rio Grande do Norte, Medeiros (2005; 2006) destacou o papel de Mossoró e Areia Branca como polos de contágio durante a pandemia da gripe espanhola, evidenciando a vulnerabilidade sanitária regional.

Diante desse quadro, algumas questões norteadoras orientaram a investigação: 1. De que maneira as redes técnicas e infraestruturas de transporte contribuíram para a disseminação de epidemias?; 2. Como a urbanização e as intervenções sanitárias reconfiguraram o espaço no Rio Grande do Norte?

Com base nessas questões, a pesquisa teve como objetivo central compreender os conflitos climáticos e sanitários na relação técnica-natureza entre 1877 e 1977, investigando como as epidemias se articularam com as transformações territoriais e sociais. Entre os objetivos específicos, buscou-se analisar a relação entre ferrovias e interiorização de doenças, examinar a gripe espanhola em cidades potiguaras e compreender o papel das políticas sanitárias no ordenamento urbano.

Para alcançar tais objetivos, adotou-se uma metodologia histórico-geográfica, estruturada em quatro etapas: revisão bibliográfica com base em autores clássicos e contemporâneos (SANTOS, 2006; CAPEL, 1981; MORAES, 2005; CZERESNIA; RIBEIRO, 2000); levantamento documental em fontes primárias como os Anuários de Bioestatística e relatórios da Inspetoria de Obras Contra as Secas (BRASIL, 1929-1947; BRASIL, 1936).

Os resultados parciais evidenciaram que as redes de transporte, em especial as ferrovias, desempenharam papel determinante na difusão de epidemias como hanseníase e malária, e que a gripe espanhola encontrou condições propícias para se espalhar em cidades do interior potiguar devido às conexões comerciais e à precariedade sanitária. Esses achados corroboram a leitura de que as epidemias devem ser compreendidas em sua dimensão territorial, como já ressaltado por Chalhoub (1996) ao analisar a cidade do Rio de Janeiro.

A estrutura do relatório organiza-se da seguinte forma: após esta introdução, apresenta-se a metodologia detalhada; em seguida, os resultados e discussões; por fim, a conclusão, que sintetiza os aprendizados da pesquisa e aponta contribuições para o campo da Geografia da Saúde.

Metodologia

O desenvolvimento da pesquisa baseou-se em uma abordagem histórico-geográfica e interdisciplinar, articulando teoria, análise documental e estudos empíricos. Essa perspectiva foi fundamental para compreender a interação entre técnica, natureza e sociedade, em consonância com a reflexão de Santos (2017) acerca da produção do espaço como resultado da síntese entre tempo, técnica e relações sociais.

O primeiro procedimento consistiu em uma revisão bibliográfica direcionada à construção de referenciais teóricos e metodológicos. Foram mobilizados autores clássicos da Geografia, como Capel (1981), que discute a relação entre ciência, técnica e urbanização, e Moraes (2005), que aborda a historicidade do território no Brasil. Também foram incorporados estudos que exploram a dimensão social das epidemias, como Chalhoub (1996), ao analisar os cortiços e as doenças no Rio de Janeiro imperial, e Czeresnia e Ribeiro (2000), que interpretam o espaço em epidemiologia como produto histórico e epistemológico.

O segundo eixo metodológico envolveu o levantamento e análise documental em fontes primárias, que foram fundamentais para compreender os processos históricos em estudo. Foram consultados os relatórios da Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (BRASIL, 1934; 1936), que apresentam dados sobre intervenções técnicas e infraestruturais no Nordeste.

Por fim, o terceiro procedimento metodológico consistiu na sistematização e discussão coletiva das informações obtidas. Esse processo foi fundamental para consolidar interpretações sobre a relação técnica-natureza e para estruturar relatórios internos, resumos expandidos para congressos e o presente relatório final.

Resultados e Discussões

A pesquisa evidenciou que as redes de transporte, em especial as ferrovias, desempenharam papel central na disseminação de epidemias. Benchimol e Silva (2008) destacam que a construção ferroviária na Primeira República serviu não apenas para integrar o território nacional, mas também para difundir doenças como a malária. No Rio Grande do Norte, Nobre (2016) demonstrou a correlação entre os traçados ferroviários e a propagação da hanseníase, principalmente nas áreas urbanas em expansão.

Outro aspecto relevante foi a pandemia da gripe espanhola em 1918. De acordo com Medeiros (2005; 2006), Mossoró e Areia Branca se configuraram como polos de contágio, devido às suas conexões comerciais e fluxos migratórios. Essa dinâmica reforça a tese de que as epidemias são intensificadas pela circulação de pessoas e mercadorias, em consonância com a interpretação de Santos (2006) sobre o espaço como resultado da interação técnica e social.

Além da dimensão histórica, a pesquisa contribuiu para reflexões contemporâneas. Segundo Guimarães et al. (2020), a análise espacial das epidemias, como a Covid-19, depende do mesmo raciocínio geográfico que historicamente explicou surtos de malária, gripe ou hanseníase. Assim, compreender a historicidade das epidemias fornece instrumentos para interpretar crises sanitárias atuais.

Conclusão

A pesquisa permitiu compreender como as epidemias foram moldadas por transformações territoriais e infraestruturais, revelando a íntima relação entre técnica, natureza e saúde. No contexto potiguar, observou-se que doenças como hanseníase, malária e gripe espanhola estiveram vinculadas à expansão ferroviária e à precariedade sanitária urbana, reforçando a necessidade de abordagens interdisciplinares na Geografia da Saúde.

Do ponto de vista formativo, a participação no projeto consolidou habilidades em análise documental, revisão bibliográfica e elaboração científica, contribuindo para a formação acadêmica e para o desenvolvimento de uma leitura crítica das relações entre saúde e espaço urbano.

Referências

BENCHIMOL, Jaime Larry; SILVA, André Felipe Cândido. Ferrovias, doenças e medicina tropical no Brasil da Primeira República. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, v. 15, n. 3, p. 719-762, 2008.

BRASIL. Departamento Nacional de Saúde. Anuário de bioestatística (1929-1947). Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1944-1951.

BRASIL. Inspectoria Federal de Obras Contra As Seccas. Relatório dos trabalhos realizados no anno de 1935. Rio de Janeiro: Papelaria Brazil, 1936.

CAPEL, Horacio. Filosofía y ciencia en la geografia contemporânea. Barcelona: Barcanova, 1981.

CHALHOUB, Sidney. Cidade febril: cortiços e epidemias na corte imperial. 3. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

CZERESNIA, Dina; RIBEIRO, Adriana Maria. O conceito de espaço em epidemiologia: uma interpretação histórica e epistemológica. Cadernos de Saúde Pública, v. 16, n. 3, p. 595-617, 2000.

GUIMARÃES, Raul Borges et al. O raciocínio geográfico e as chaves de leitura da Covid-19 no território brasileiro. Estudos Avançados, v. 34, n. 99, 2020.

MEDEIROS, Salomão Gomes de. A gripe espanhola em Natal: outubro a dezembro de 1918. Monografia (Graduação em História) – UFRN, Natal, 2005.

MEDEIROS, Leonardo Câmara de. Epidemias e práticas de saúde pública no Rio Grande do Norte (1850-1890). Monografia (Graduação em História) – UFRN, Natal, 2006.

MORAES, Antonio Carlos Robert. Território e história no Brasil. São Paulo: Annablume, 2005.

NOBRE, Maurício Lisboa. Estratégias para bloquear a transmissão da hanseníase em município hiperendêmico – Mossoró/RN. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2016.

SANTOS, Milton. A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção. São Paulo: Edusp, 2006.

CÓDIGO: HS0858

AUTOR: JULIA MARIA DE ARAUJO LUCENA

ORIENTADOR: EDJA BEZERRA FARIA TRIGUEIRO

TÍTULO: Moradias brasileiras na produção acadêmica da UFRN: explorando a ideia de flexibilidade na configuração dos espaços domésticos

Resumo

O presente artigo tem por objetivo tecer considerações acerca da morada brasileira, com ênfase na noção de flexibilidade aplicada à arquitetura doméstica, conforme abordagens encontradas na produção acadêmica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) disponíveis no Repositório Institucional da UFRN. A pesquisa em torno da produção de conhecimento sobre modos de morar – eixo de interesse, conforme expresso em nosso plano de trabalho - resultou no levantamento de 127 títulos e no fichamento de 47 textos, disponíveis no repositório institucional, abordando diferentes enfoques sobre modos de morar. Entre os temas mais recorrentes destacaram-se a habitação de interesse social, a arquitetura vernacular e a flexibilidade, compreendida em diversos contextos. A análise revelou que a flexibilidade, longe de restringir-se à tradição modernista, já estava presente em soluções vernaculares, como em casas coloniais, urbanas e rurais adaptadas ao clima e às formas de vida locais. Além disso, identificou-se sua relevância em novos arranjos familiares, no coliving, na habitação mínima e nas adaptações impostas pela pandemia. Conclui-se que a flexibilidade não apenas constitui um recurso projetual, mas um elemento estruturador da relação entre espaço doméstico e sociedade, evidenciando sua pertinência para o debate contemporâneo sobre moradia, especialmente diante dos desafios de inclusão social, sustentabilidade e qualidade de vida.

Palavras-chave: Morada brasileira. Modos de morar. Flexibilidade doméstica.

TITLE: Brazilian houses in the academic production of UFRN: exploring the idea of flexibility in domestic space configuration

Abstract

This article aims to explore Brazilian housing, emphasizing the notion of flexibility applied to domestic architecture, based on approaches found in the academic literature of the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN) available in the UFRN Institutional Repository. The research into knowledge production on housing styles — our core interest, as expressed in our work plan, resulted in the

collection of 127 titles and the indexing of 47 texts, available in the institutional repository, addressing different approaches to housing styles. Among the most recurring themes were social housing, vernacular architecture, and flexibility, understood in diverse contexts. The analysis revealed that flexibility, far from being restricted to the modernist tradition, was already present in vernacular solutions, such as colonial, urban, and rural houses adapted to the local climate and lifestyles. Furthermore, its relevance was identified in new family arrangements, coliving, minimal housing, and the adaptations imposed by the pandemic. It is concluded that flexibility not only constitutes a design resource, but a structuring element of the relationship between domestic space and society, evidencing its relevance for the contemporary debate on housing, especially in the face of the challenges of social inclusion, sustainability and quality of life.

Keywords: Brazilian homes. Ways of living. Domestic flexibility.

Introdução

Com intuito de ampliar o conhecimento acerca de modos de morar, e, mais particularmente, acerca do que se tem investigado nesse campo disciplinar sobre a moradia potiguar, trabalhos acadêmicos contidos no Repositório Institucional da UFRN vêm sendo examinados, em busca de temas que tratam de relações entre forma e usos da arquitetura doméstica, como parte das atividades investigativas propostas no Plano de Trabalho “Moradias brasileiras na produção acadêmica: prosseguindo na investigação de formas de usar”, vinculado ao projeto de pesquisa “A forma da norma e os usos da forma: arquitetura e modos de convívio em edifícios e espaços públicos.”

Foram examinados 127 textos, mediante compilação, resumo e fichamento contendo dados referentes à natureza e autoria do trabalho, ao objeto de estudo e aos achados que lançam luz sobre padrões de interação humana estruturados no espaço (e pelo espaço), conforme impressos no modo como as partes componentes das moradias são interligadas e, em certos casos, observados ou expressos em narrativas compiladas pelos autores.

Entendendo-se arquitetura como espaço que amolda a vida e sociedade como modos de interação humana estruturados, em grande medida, pela arquitetura, tem-se que a investigação da configuração espacial – abordagem privilegiada em nossos estudos –, expõe aspectos dessa interação, através de espectros socioculturais, locacionais e temporais que podem ser lidos na forma construída, em perspectiva sincrônica e diacrônica, revelando nuances que se manifestam simultaneamente ou predominam em tempos distintos, sinalizando, em ambas as perspectivas, arranjos mais ou menos adequados aos seus potenciais ocupantes. O tema da adequação entre concepção projetual e diversidade de modos de uso – seja vinculado a diferenças de relações humanas coexistentes ou transformadas pelo tempo – tem estado na pauta de estudiosos da arquitetura, pelo menos desde a discussão de princípios e desígnios da arquitetura moderna, comumente sob o rótulo conceitual de flexibilidade.

Embora não haja consenso quanto ao conceito, considerando-se o conjunto de fontes examinadas, há uma reconhecível confluência de sentidos que permite abrigar a maior parte dos enfoques sob a definição de Tramontano (1998, p.245), como “[...] possibilidades de reordenação do espaço durante toda a sua vida útil, a qualquer momento e sem necessidade de reformas [...]”. Tal definição vai bem ao encontro do cerne analítico com o qual exploramos a relação arquitetura e sociedade – a configuração espacial ou o modo como o conjunto de espaços se relacionam entre si para definir um todo hierárquico.

Ao ler e fichar os trabalhos que abordam o tema da flexibilidade, percebe-se uma recorrente e abundante concentração em uma visão que vincula a noção, e mesmo sua gênese, a preceitos modernistas. Essa constatação leva à indagação sobre até que ponto esses preceitos são, efetivamente, capazes de tornar flexíveis os arranjos espaciais e o porquê da ausência, quase geral, de menção a residências pré-modernistas na literatura examinada, uma vez que, os modos como são configurados os seus espaços, permitem, em muitos casos, uma ampla reconfiguração, pelo simples ato de abrir e fechar portas.

O argumento central do presente artigo é, portanto, explorar o tema da flexibilidade na configuração espacial doméstica brasileira, com ênfase para a moradia potiguar, a partir de um breve panorama de como a noção de flexibilidade tem sido abordada em estudos acadêmicos produzidos na UFRN, recorrendo-se, aqui e ali, a referências seminais sobre o tema em outras fontes. Serão contrapostas visões e achados, sobretudo quanto à presença de evidências configuracionais de flexibilidade espacial na arquitetura doméstica vernácula, ainda pouco explorados na literatura.

Metodologia

Os procedimentos utilizados iniciaram-se com a busca, no Repositório Institucional da UFRN, por palavras-chave (i.e. modos de morar, habitar etc.; arquitetura vernacular, doméstica, residencial, habitacional etc.; morada, moradia, habitação etc.) que remetessem a modos de morar no Brasil. A partir dessa procura guiada registrou-se, em uma planilha, toda a produção escrita relacionada ao enfoque da pesquisa, resultando em 127 entradas. Uma vez identificados os textos que têm como objeto a moradia brasileira em perspectiva de relações arquitetura e sociedade, seus conteúdos foram sendo compilados em fichas contendo: nº de controle da FICHA; TÍTULO do trabalho; AUTOR(ES); REFERÊNCIA ABNT; LINK; ORIENTAÇÃO; TIPO do trabalho; LOCAL unidade acadêmica onde foi desenvolvido; SINOPSE e EXCERTOS contendo nºs de páginas.

Ao longo do avanço da compilação de material, foram sendo ajustados procedimentos de taxonomia relativos à natureza e contexto dos tipos edifícios e verificadas possibilidades de emprego de instrumentos de Análise Sintática do Espaço (Hillier, Hanson et al.) em representações gráficas de casos

considerados ilustrativos de determinado tipo edifício residencial para embasar a produção de um ou mais artigos sobre configuração espacial doméstica nas próximas etapas da pesquisa.

Resultados e Discussões

A produção acadêmica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) sobre moradias brasileiras abrange enfoques temáticos diversos, dentre os quais se destacam as desigualdades socioeconômicas que incidem e são incididas pelos modos de morar no Brasil, articulando temporalidades que vão da casa-grande colonial às edificações verticais contemporâneas. Entre os assuntos mais recorrentes destacam-se os estudos sobre: habitação de interesse social, em que se analisam programas habitacionais, estratégias projetuais e processos de reabilitação urbana; modos de morar, que exploram cotidianos domésticos mais ou menos usuais, como a presença de composições domiciliares de famílias intergeracionais, e de novas modalidades de coabitação (i.e. coliving).

Por meio do levantamento realizado, observou-se que, dos textos fichados, a flexibilidade se destacou como o assunto mais recorrente, presente em 12 trabalhos, seguida por projetos arquitetônicos (10), formas e modos de morar (8), habitação de interesse social (7), análises de projeto (5) e arquitetura moderna (4). Outros eixos temáticos, como espaço urbano, soluções arquitetônicas, arquitetura vernacular e arquitetura regional, apareceram em menor número, mas ainda assim contribuindo para a diversidade de abordagens identificadas.

Há uma expressiva produção sobre a arquitetura moderna residencial, com foco nas décadas de 1950 a 1970 no contexto potiguar e nordestino. Também são recorrentes as análises de projetos arquitetônicos, com ênfase em habitação mínima e edifícios contemporâneos, assim como estudos voltados à arquitetura vernacular e regional, que investigam saberes construtivos tradicionais e sua adaptação ao clima e às condições locais, em especial as do semiárido. As análises contemplam tanto aspectos materiais – continentes e conteúdos, compostos pelas estruturas físicas das caixas murais e mobiliário - quanto dispositivos legais acerca do construir, evidenciando como estes expressam e moldam práticas de habitação inseridas em contextos históricos, culturais e normativos específicos.

Dentro desse panorama, o tema da flexibilidade aparece de maneira transversal em diferentes contextos (Tabela 01). Parte significativa da produção associa a flexibilidade às propostas de habitação mínima e adaptável, explorando soluções espaciais capazes de responder a transformações familiares e sociais, como no Residencial Tetris (MACEDO, 2014) e em propostas de apartamentos com layout mutável (SANTOS, 2021). O conceito de flexibilidade aparece mobilizado como ferramenta de qualificação do espaço e de ampliação das possibilidades de uso em estudos de habitações de interesse social (CAVALCANTI, 2016).

A flexibilidade também é discutida em função de novos modos de morar e demandas emergentes. Exemplos disso são a Casa intergeracional (EMERECIANO, 2014), voltada a acolher diferentes gerações em um mesmo espaço doméstico, e o projeto Colaborativo 1510 (MACHADO, 2019), que associa flexibilidade ao modelo de coliving — moradia compartilhada — para jovens.

As mudanças sociais, impulsionadas por fatores econômicos, tecnológicos e culturais, também vêm reformulando a concepção de casa e do morar, configurando os “novos modos de morar”. Tem-se a transformação do núcleo familiar e do estilo de vida urbano como um fator crucial para a intensificação da mudança. Desde os anos 1960, observa-se o aumento de famílias monoparentais, casais sem filhos, uniões livres e coabitações diversas (MACHADO, 2019). Fatores como a emancipação feminina, a queda da natalidade, o avanço médico e até a internet, que remodelou a intimidade, contribuíram para a busca por espaços integrados ou de uso coletivo. Além disso, a violência urbana, as crises econômicas e a precariedade do transporte também impulsionam novas formas de morar (MACHADO, 2019).

Já em contextos mais recentes, como no trabalho Novas tendências do morar em apartamentos (SILVA, 2022), o conceito aparece articulado ao sanitarismo e às transformações provocadas pela pandemia, evidenciando sua pertinência diante de desafios contemporâneos. Isso porque as crises sanitárias e, em especial, a pandemia de SARS-CoV-2, que funcionaram como “aceleradores de futuros”. Isso porque a quarentena da COVID-19, ao transferir trabalho e ensino para o lar, redefiniu as funções da habitação, exigindo maior adaptabilidade (SILVA, 2022).

Dessa forma, os novos modos de morar emergem da convergência entre transformações sociais, tecnológicas, econômicas e sanitárias, impulsionando tipologias como o coliving e projetos arquitetônicos mais flexíveis e adaptados a uma sociedade em permanente mutação (MACHADO, 2019; SILVA, 2022).

O interesse pela temática da flexibilidade ou reconfiguração espacial doméstica foi, particularmente cativados pelos trabalhos “Casa de Fazendeiro tem que ter alpendre: um estudo sobre a concepção e construção do habitat no Assentamento do Rosário, Ceará-Mirim/RN (Souza, 2018), “Da casa grande ao condomínio fechado: o que mudou nas formas e modos de morar da família intergeracional no Nordeste e Sudeste do Brasil?” (Góis, 2015) e “Arquitetura Vernacular em Regiões de Clima Semiárido: Estudo das Casas de Fazenda do Seridó Potiguar do Século XIX” (Borges, 2015). Após o fichamento desses textos, ficou clara a necessidade de espelhar alguns conceitos à luz da produção literária afim, razão pela qual os fichamentos subsequentes foram mais direcionados para autores que discorrem sobre flexibilidade na arquitetura.

Os estudos de Tramontano (1993, 1997 e 1998), Finkelstein (2009) e Pires (2019) ajudaram a traçar um panorama sobre o histórico da abordagem da flexibilidade na arquitetura, e identificar que essa temática, apesar de constantemente aplicada e historicamente presente no ambiente residencial, não

vem sendo explorada em alguns aspectos arquiteturais importantes, notadamente o da configuração dos espaços.

Ao discorrer sobre a morada brasileira, Tramontano (1997) aborda como as alterações na estrutura social impactam no morar, como “a volta do trabalho em casa, o culto ao corpo, as preocupações de caráter ambiental, o superequipamento do espaço doméstico”. Mesmo que o modelo de distribuição de layout ainda seja majoritariamente oitocentista burguês, em que há separação clara entre serviços domésticos e padrões — hoje, social, serviço e privado (TRAMONTANO, 1997), essas mudanças podem ser identificadas nas residências nacionais da contemporaneidade. A exemplo disso, temos os quartos, originalmente pertencentes ao setor particular/individual, comportando outras atividades frente à necessidade de adaptação da sociedade, como a presença de escrivaninhas para o trabalho home office, a televisão, originalmente pertencente à sala de estar, um espaço social. Uma das mais notáveis mudanças abordadas por Tramontano (1997) foi a emergência de uma nova estrutura familiar, antes composta por pai, mãe e filhos e que hoje se caracteriza pela ausência de filhos e pela presença de arranjos familiares diversos.

Pires (2015), faz um percurso histórico pelas diversas temporalidades humanas visando identificar rastros e registros da aplicação da flexibilidade ao passar dos anos. Intitulada “Como a flexibilidade se manifesta na arquitetura através das mais variadas tipologias após a segunda metade do século XX?”, a dissertação tem por objetivo expandir a visão simplista que se tem sobre a flexibilidade, associada apenas ao modernismo. Para isso, a autora realiza uma investigação que combina análise bibliográfica e estudo de casos, mapeando exemplos de diferentes escalas, observando como a transformação do uso se materializa e abordando diferentes concepções acerca da definição da flexibilidade, evidenciando que a flexibilidade, longe de ser um conceito homogêneo, se manifesta como uma resposta dinâmica e variáveis sociais, econômicas e tecnológicas.

Finkelstein (2009), em sua dissertação de mestrado, pontua que há três grupos de arquitetos: uns que projetam edifícios visivelmente flexíveis, outros que projetam de maneira neutra e aqueles que negam a ideia de flexibilidade como liberdade, defendendo a ideia de que o arquiteto tem que prever todos os possíveis usos para os espaços e projetar atendendo a essas possibilidades. A partir dessa perspectiva, a autora traz a visão de diversos arquitetos, de diferentes contextos, acerca do impacto das mudanças sociais e tecnológicas no mercado imobiliário e no fazer projetual e da flexibilidade na arquitetura moderna. Como resultado, Finkelstein infere que “As questões relativas à flexibilidade então se tornam mais diretas, já que admitidas as diversidades humanas, é imperativo ao projeto oferecer distintas e variadas possibilidades” (Finkelstein, 2009; pág. 47).

As análises de Tramontano (1997) revelam como o espaço doméstico passa a absorver funções múltiplas, revelando a tensão entre permanência tipológica e adaptação cotidiana, sobretudo diante da emergência de novas formas de

organização familiar e de trabalho. Nesse contexto, a reflexão de Pires (2015) amplia a compreensão do fenômeno ao evidenciar que a flexibilidade não pode ser reduzida a um ideário modernista, mas deve ser entendida como um campo plural, historicamente situado e em constante ressignificação frente às demandas sociais. Complementarmente, Finkelstein (2009) ressalta a necessidade de admitir a diversidade dos modos de habitar, argumentando que o projeto arquitetônico não deve restringir possibilidades, mas antes oferecer condições para usos múltiplos e imprevistos.

Com base nas publicações de Borges (2015), Feijó (2002) e em discussões sobre o tema, foi possível perceber, a partir de evidências configuracionais, que a conformação espacial das residências pré-modernistas nordestinas permitia ajustes e reajustes no layout, motivados pela necessidade de diferentes usos, conforme demandas sociais — ligadas a convivência e a hospitalidade (Figuras 01 e 02). Estes rearranjos eram viabilizados pela permissão e/ou restrição do acesso a determinados cômodos, mediada pelo abrir e fechar de portas. Portanto, essa possibilidade de reinterpretação do espaço traduz os modos de vida locais, em que a morada se adapta dinamicamente às demandas sociais e familiares.

Ao demonstrarem que a flexibilidade não é um fenômeno exclusivo da modernidade, Tramontano (1993, 1997 e 1998), Finkelstein (2009), Borges (2015), Feijó (2002) e Pires (2019) abrem espaço para refletir como essa adaptabilidade já se manifestava em períodos pré-modernistas. A partir desse conjunto de fontes, foi identificado que há uma reconhecível confluência de sentidos que permite abrigar a maior parte dos enfoques sob a definição de Tramontano (1998, p.245), como “[...] possibilidades de reordenação do espaço durante toda a sua vida útil, a qualquer momento e sem necessidade de reformas [...]”. Tal definição dialoga com o modo como o conjunto de espaços se relacionam entre si para definir um todo hierárquico.

Conclusão

A intenção deste artigo é de abordar a flexibilidade, nas suas mais variantes aplicações identificada através do estudo sobre o estado da arte acerca da morada brasileira – com foco no contexto nordestino e potiguar, verificando a tendência e a recorrência de temas afins à relação entre forma construída e usos dos espaços, com base na produção acadêmica da UFRN.

Observou-se que a flexibilidade permeia diversos campos, como o técnico, projetual e sociocultural e, longe de restringir-se ao modernismo, ela já se manifestava em soluções vernaculares, adaptadas às formas de vida locais (BORGES, 2015; FEIJÓ, 2002), e prevalece em arranjos familiares diversos, na habitação mínima e no coliving (TRAMONTANO, 1997; PIRES, 2015; FINKELSTEIN, 2009; MACHADO, 2019; MACEDO, 2014; CAVALCANTI, 2016),

com sua relevância reforçada pela pandemia de SARS-CoV-2, ao exigir maior adaptabilidade do espaço doméstico (SILVA, 2022).

A partir das constatações registradas, delineiam-se possibilidades de aprofundamento da investigação no campo da configuração espacial doméstica, em especial pela análise de evidências configuracionais presentes na arquitetura vernácula e em tipologias residenciais contemporâneas, de modo a subsidiar a produção de novos artigos que deem continuidade ao debate sobre modos de morar, flexibilidade e sociedade nas próximas etapas da pesquisa.

Referências

BORGES, Ariane Magda. Vernaculares: a casa de fazenda seridoense do século XIX como exemplo de adaptação ao clima semiárido. 2015. 127f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro De Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

CAVALCANTI, Emerson Fernandes. Expansibilidade e conforto em edificações verticais: uma proposta de habitação de interesse social tipo apartamento para Parnamirim-RN. 2016. 142f. Dissertação (Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

EMERENCIANO, Anna Paula Santos. Casa Intergeracional: um lar por toda a vida. 2014. 141f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

FEIJÓ, Paulo Heider Forte. A arquitetura tradicional de Acari no século XIX: estudo comparativo entre a casa grande de fazenda e a casa urbana. 2a Ed. Natal: 8 editora, 2014.

FINKELSTEIN, Cristiane Wainberg. Flexibilidade na arquitetura residencial: um estudo sobre o conceito e sua aplicação. 172 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GÓIS, Lúcia Helena Costa de. Da casa grande ao condomínio fechado: o que mudou nas formas e modos de morar da família intergeracional no Nordeste e Sudeste do Brasil? 2015. 409f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

HANSON, J. Decoding homes and houses. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

HILLIER, B. and HANSON, J. The social logic of space. Cambridge Univ Press, 1984.

MACEDO, Priscila Ferreira de. Residencial Tetris: anteprojeto arquitetônico de uma habitação mínima flexível. 2014. 99f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

MACHADO, João Ricardo Freire de Moraes. Colaborativo 1510: proposta de um edifício residencial em coliving para estudantes, universitários e jovens profissionais. 2019. 172f. Dissertação (Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

PIRES, Nayara. As manifestações da flexibilidade na arquitetura. 2019. 176 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2019. Acesso em 11 jul. 2025.

SANTOS, Dayse Vital Bezerra. Habitação livre: proposta de edifício de apartamentos com layout adaptável em Recife-PE. 2021. 151f. Dissertação (Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

SILVA, Claryana Rodolfo de Albuquerque Costa e. Novas tendências do morar em apartamentos: proposta arquitetônica de estudo preliminar de um edifício com enfoque em flexibilidade e sanitarismo. 2022. 150 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura) - Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

SOUZA, Dmetryus Targino Marques de. Casa de fazendeiro tem que ter alpendre: um estudo sobre a concepção e construção do habitat no assentamento do Rosário, Ceará-Mirim/RN. 2018. 111f. Trabalho Final de Graduação (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

TRAMONTANO, Marcelo. Espaços domésticos flexíveis: notas sobre a produção da primeira geração de modernistas brasileiros. São Paulo: FAU-USP, 1993. 15 p. Disponível em:<http://www.nomads.usp.br/documentos/livraria/T01-espacosdomesticosflex.pdf>. Acesso em 11 jul. 2025.

TRAMONTANO, Marcelo. Uma nova casa brasileira. Folha de S.Paulo, São Paulo, 9 nov. 1997. Caderno Imóveis – Opinião. Disponível em:<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/imoveis/ci091105.htm>. Acesso em: 29 jul. 2025.

TRAMONTANO, Marcelo. Habitações, metrópolis e modos de vida: por uma reflexão sobre a habitação contemporânea. Texto premiado no 3º Prêmio

Jovens Arquitetos: Primeiro Lugar na categoria Ensaio Crítico. São Paulo:
Instituto dos Arquitetos do Brasil - SP / Secretaria de Estado da Cultura, 1998.

Anexos



Tabela 01: Trabalhos Sobre Flexibilidade Fichados. Fonte: Autoria própria, 2025.



Figura 01: Fazenda Ingá. Fonte: Feijó, 2014.



Figura 02: Fazenda Malhada Vermelha. Fonte: Feijó, 2014.

CÓDIGO: HS0992

AUTOR: MAYARA SUELEN DA COSTA DANTAS

COAUTOR: ANDRÉ LUIZ DE MELO SOUSA

COAUTOR: JESSICA MIKAELLY DA SILVA GOMES

ORIENTADOR: JOSE CLEWTON DO NASCIMENTO

TÍTULO: INTERVENÇÕES DE VALORIZAÇÃO CULTURAL EM OPERAÇÕES DE REABILITAÇÃO URBANA SISTEMÁTICAS: análises de propostas projetuais na Operação de Reabilitação Urbana Arenes, Torres Vedras, Portugal

Resumo

O presente trabalho visa analisar dois projetos de requalificação arquitetônica oriundos da Operação de Reabilitação Urbana (ORU) da cidade de Torres Vedras, em Portugal, sendo eles: o Aqueduto e o Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho, antigo refeitório de uma fábrica de bicicletas. A análise será conduzida com base nos pressupostos e objetivos definidos pela própria ORU, articulando-os ainda com as diretrizes estabelecidas no Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano (PEDU) do município, documento estratégico integrado no programa Portugal 2030. O foco do trabalho é relatar as ações necessárias para a requalificação destes espaços, como se deram e se foram suficientes para cumprir os objetivos presentes na ORU. Para isso, os métodos de pesquisa utilizados foram a consulta a materiais bibliográficos e a análise documental de projetos. Ao concluir a pesquisa será possível compreender se de fato os objetivos foram atendidos, de modo que contribuam para o contexto local, além de entender que ações são necessárias para que isso se mantenha ou quais devem ser realizadas caso não tenha havido seu cumprimento.

Palavras-chave: Requalificação arquitetônica; Torres Vedras; Valorização cultural.

TITLE: CULTURAL VALUE INTERVENTIONS IN SYSTEMATIC URBAN REHABILITATION OPERATIONS: analysis of project proposals in the Arenes Urban Rehabilitation Operation, Torres Vedras, Portugal

Abstract

This paper analyzes two architectural redevelopment projects stemming from the Urban Rehabilitation Operation (ORU) of the city of Torres Vedras, Portugal: the Aqueduct and

the Joaquim Agostinho Cycling Museum, a former bicycle factory cafeteria. The analysis will be conducted based on the assumptions and objectives defined by the ORU itself, aligning them with the guidelines established in the municipality's Strategic Urban Development Plan (PEDU), a strategic document integrated into the Portugal 2030 program. The focus of the paper is to report the actions necessary to rehabilitate these spaces, how they were implemented, and whether they were sufficient to meet the ORU's objectives. The research methods used included bibliographical references and document analysis of projects. Upon completing the research, it will be possible to understand whether the objectives were in fact met, so that they contribute to the local context, in addition to understanding what actions are necessary to maintain this or which should be taken if they have not been met.

Keywords: Urban requalification; Torres Vedras; Cultural appreciation.

Introdução

A cidade de Torres Vedras, há 50km de Lisboa, localizada no oeste de Portugal (anexo 2), vem passando por intervenções urbanísticas e arquitetônicas ao longo da última década. Tais ações resultam da necessidade de preservar o patrimônio cultural-edificado da região e de responder ao crescimento populacional e à expansão das áreas urbanas. Esta tarefa demanda desafios acerca da organização espacial e funcional da estrutura urbana, os quais também podem influenciar outros aspectos importantes da comunidade (Cavalcante; Nascimento, 2019, p. 72-73).

Com o objetivo de solucionar o problema da regeneração do tecido urbano e edificado, o município de Torres Vedras delimitou várias Áreas de Reabilitação Urbana (ARU). Entre elas, a ARU de Arenes (anexo 3), que é o foco desta pesquisa. Desenvolvido no quadro do Portugal 2030, o Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano (PEDU) de Arenes concretizou-se com a publicação da sua Operação de Reabilitação Urbana (ORU) em 2021, que define um plano de intervenções para o desenvolvimento integral da cidade.

Nesse sentido, a pesquisa foca na análise de procedimentos e estratégias realizadas em dois objetos arquitetônicos importantes: o Aqueduto de Torres Vedras e o Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho – antigo refeitório da Casa Hipólito –, tratados na Operação de Reabilitação Urbana de Arenes.

A seleção desses monumentos levou em consideração seu valor histórico-cultural. Nesse sentido, Choay (2006, p. 12-13) afirma que a valorização do patrimônio hoje vai além do prazer estético e demanda uma postura crítica. Para ela, o patrimônio é um indicador social, porém negligenciado, que não se restringe a edifícios isolados, mas inclui os conjuntos e o tecido urbanos. É nessa perspectiva que esses edifícios são entendidos como elementos definidores das relações que os moradores estabelecem com o espaço e entre si, sendo a base para a construção da comunidade. Até a requalificação das construções estudadas, elas eram subutilizadas, estando o aqueduto destituído do seu uso original e servindo principalmente como marco patrimonial e atrativo turístico, enquanto o refeitório da Casa Hipólito não possuía um uso efetivo desde a desativação da metalúrgica.

Esse estudo é fruto do projeto de pesquisa intitulado “REABILITAÇÃO EM ÁREAS DE VALOR PATRIMONIAL: VALORIZAÇÃO DO LUGAR? Análises de programas e ações à luz de casos brasileiros e portugueses”. Assim, ele é uma continuação de investigações anteriores que foram realizadas pelo Grupo de Pesquisa Morfologia e Usos da Arquitetura (MUsA/UFRN) em parceria com a CMTV. Desta vez, o objetivo é analisar ações decorrentes de operações de requalificação urbana, em áreas que apresentam significância histórico-cultural e se encontram desqualificados ou obsoletos. Adicionalmente, os objetivos específicos incluem: 1) Aprofundar o estudo sobre reabilitação urbana e temas correlatos, como: preservação do patrimônio industrial, intervenções em edifícios de valor patrimonial, centros interpretativos ou museus, e reusos adaptativos; 2) Analisar as propostas e projetos implementados no âmbito do pilar “valorização cultural” na ARU de Arenes.

Além disso, o estudo foi motivado por três fatores principais: escassez de debates sobre a problemática; necessidade de intercambiar ideias, conhecimentos e práticas desenvolvidas pela UFRN e pela CMTV; e, por fim, pelo objetivo de contribuir para estudos sobre a temática e para a promoção de políticas públicas sustentáveis.

A seguir serão expostos os procedimentos metodológicos. A seção dedicada aos Resultados e Discussão estrutura-se em uma sequência lógica que inicia com a explicitação do processo e dos instrumentos da ORU, seguida por uma contextualização do aqueduto e o processo de sua requalificação e reuso adaptativo. Em um segundo momento, o mesmo método é aplicado ao Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho: contextualização e análise de pós-requalificação, permitindo assim uma avaliação abrangente das intervenções realizadas.

Metodologia

A estrutura metodológica deste estudo se divide em duas etapas. Em primeiro lugar, foi feita uma leitura dos materiais sobre a ORU de Arenes, oferecidos pela Câmara Municipal de Torres Vedras (CMTV), que estão disponíveis no site da Câmara. Tendo ciência das propostas e diretrizes presentes no documento, foi realizado um recorte e posteriormente selecionados dois projetos arquitetônicos de grande importância para a região, os quais estão ligados ao eixo estratégico de “valorização urbana”: o aqueduto de Torres Vedras e o Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho.

Para os estudos acerca de requalificação arquitetônica, reabilitação urbana e preservação de patrimônio foram utilizados autores que pesquisaram ou pesquisam sobre o assunto, como a historiadora francesa Françoise Choay (2006), autora cujas pesquisas foram elementares na construção da base bibliográfica deste estudo ao se tratar de valorização patrimonial; a autora Victoria Ordonez (2023), cujo trabalho sobre reuso adaptativo foi primordial na realização das análises aqui apresentadas; o arquiteto e historiador Carlos Lemos (2006) também para basear os estudos acerca de preservação arquitetônica; além dos pesquisadores Eunádia Cavalcante e José Clewton do Nascimento (2019, 2021), os quais possuem vasta produção acadêmica acerca do estudo e análise do processo de

reabilitação urbana de Torres Vedras; além de consultas em materiais já levantados pelo grupo de pesquisa MUsA/UFRN.

Posteriormente, a análise dos projetos selecionados buscou responder aos seguintes questionamentos: 1) quais conceitos norteiam a proposta?; 2) quais foram os objetivos?; 3) como as propostas são pensadas no âmbito das ações gerais da Operação de Reabilitação Urbana?; 4) quais as respostas dadas pelo projeto no que tange à preservação dos elementos, enquanto apresenta significância histórico-cultural? Além disso, foi realizada uma análise comparativa identificando as modificações realizadas no Museu do Ciclismo e um estudo dos danos encontrados no Aqueduto, bem como as ações realizadas visando a sua conservação e valorização.

Resultados e Discussões

1. Requalificação e reuso adaptativo

De acordo com Ordonez (2023, p. 01), é inevitável que surjam propostas de novos usos para determinados edifícios quando estes não estão mais cumprindo sua função original, a partir disso, sua requalificação pensando no reuso adaptativo deve ser tratada com cautela, visto que é de grande importância manter as principais características arquitetônicas do patrimônio edificado, de modo que sua identidade seja conservada, tendo como ponto chave que:

O reuso adaptativo de edifícios é uma forma de regeneração urbana sustentável, pois prolonga a vida útil do edifício, evita resíduos de demolição, incentiva a reutilização da energia incorporada e também proporciona benefícios sociais e econômicos significativos para a sociedade e as cidades. [...] Como resultado, o reuso adaptativo de edificações subutilizadas pode contribuir não só para a sustentabilidade de uma cidade, mas também para o desenvolvimento social e econômico do entorno. (Ordenez, 2023, p. 01)

Dessa forma, compreende-se a notoriedade de que hajam projetos de requalificação em uma cidade como Torres Vedras, a qual possuía uma população isolada social e culturalmente, sem lugares adequados para a ocorrência de atividades que possam reverter essa situação (Cavalcante; Nascimento, 2021), é nesse contexto que se enquadra a requalificação do antigo Aqueduto de Torres Vedras e da conversão do antigo refeitório da Casa Hipólito em Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho, ambos analisados com base nos desenhos técnicos e diagnóstico cedidos pela Câmara Municipal de Torres Vedras, além de embasamento nos objetivos respostas e ações presentes no quadro síntese do Anexo 4 deste trabalho.

2. Programas e instrumentos

No ano de 2010, a União Europeia criou o programa “Estratégia Europa 2020”, com o intuito de promover a saída da crise econômica e avançar em três eixos de programação: inteligente, sustentável e inclusivo (ESTRATÉGIA..., 2021). Nesse sentido, “Portugal 2030”, continuação do “Portugal 2020”, surge com estratégias pautadas em cinco eixos principais: uma Europa mais inteligente, mais verde, mais conectada, mais social e mais próxima dos cidadãos.

Para alcançar suas metas, a CMTV utiliza o Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano (PEDU) como instrumento central. Este, por sua vez, é operacionalizado por três planos de ação: o de Mobilidade Urbana Sustentável (PAMUS), o de Regeneração Urbana (PARU) e o Integrado para Comunidades Desfavorecidas (PAICD). Esta pesquisa focou no PEDU de Arenes que, após a delimitação de uma Área de Reabilitação Urbana (ARU), a intervenção passa a ser gerida pelo Programa de Estratégico de Reabilitação Urbana (PERU), que detalha as intervenções no território. As ações específicas são então estabelecidas numa Operação de Reabilitação Urbana (ORU), após a delimitação de uma Área de Reabilitação Urbana (ARU).

3. Aqueduto de Torres Vedras

O aqueduto localiza-se na saída de Torres Vedras e atravessa o rio Sizandro. Não há registros do início de sua obra, mas sabe-se que a sua construção é antiga. Segundo o site da CMTV, a obra possui mais de dois quilômetros de extensão e foi construída com o objetivo de abastecer o Chafariz dos Canos, situado na Idade Média à entrada da então vila de Torres Vedras. Assim, com a construção do aqueduto foi possível abastecer a até então vila de Torres Vedras.

O aqueduto sofreu várias intervenções de reparo e reconstrução ao longo do tempo. Segundo o relatório prévio (2022) solicitado pela CMTV, que constata um levantamento e diagnóstico sobre anomalias do aqueduto, a primeira modificação foi realizada na segunda metade do século XVI, após D. Sebastião conceder que a estrutura fosse alongada. Já em 1787, houve o alargamento do arco sobre a "calçada de Runa e Alhandra", como era conhecida, e sobre o arco foi inserido o brasão da vila, que, com o passar do tempo, partiu-se e caiu. O aqueduto passou por obras de reconstrução e restauro no século XVIII e, mais recentemente, em 1990. Em 1992, o arco situado sobre a estrada foi desmontado e reconstruído devido ao impacto de um veículo pesado, que deslocou vários blocos de cantaria.

Atualmente, de acordo com o site da CMTV (2017) e o diagnóstico feito no relatório prévio (2021), o aqueduto não exerce mais a sua função de origem. Entretanto, devido a

sua história e a sua importância, o aqueduto passou a desempenhar um papel significativo para o turismo local e na constituição da identidade cultural da região. Apesar disso, a estrutura apresenta patologias diversas, incluindo avarias estruturais e outros problemas que, mesmo de ordem não estrutural, agravam seu estado. Observa-se que o aqueduto demanda obras de requalificação devido ao estado em que encontra-se sua estrutura.

3.1. Requalificação do aqueduto e novos usos

De acordo com o relatório feito pela CMTV (2024), o aqueduto de Torres Vedras apresenta graves problemas estruturais, incluindo fendas com risco de colapso na arcada superior, lacunas e deslocamentos em montantes e arcos, principalmente no troço sudoeste/nordeste, além de fraturas nos arcos monumentais de cantaria e erosão avançada nos arcos de tijolo. Assim, nota-se que estas anomalias comprometem a estabilidade do monumento e exigem intervenção urgente de consolidação e reforço estrutural.

Em paralelo, o relatório também chama atenção para diversos problemas não estruturais, como o destacamento de rebocos, infestação vegetal, juntas desgarnecidas, sujeira acumulada nos blocos de cantaria e a presença de elementos metálicos oxidados e acessórios indevidos. Percebe-se que, embora não afetem diretamente a estabilidade, esses fatores deterioram a estética, a durabilidade e a integridade material do aqueduto.

Visando solucionar os problemas destacados, segundo o relatório prévio (2024), as intervenções previstas pela CMTV incluem, para a parte estrutural, injeção de caldas de cal, pregagens com conectores de aço inoxidável, reconstrução de lacunas com materiais originais e consolidação de cantarias com resinas. Para os aspectos não estruturais, estão planejadas a limpeza geral, aplicação de novo reboco de cal, remoção de vegetação infestante e substituição de elementos metálicos. Todas as ações seguirão critérios de compatibilidade material e respeito pelo valor histórico, garantindo a preservação do monumento a longo prazo.

Para além do reparo dos danos, a CMTV, por meio da ORU, visa transformar o aqueduto em um equipamento de uso público ativo. Esta visão materializa-se na criação de um corredor ecológico que reforça a conectividade entre a serra, os corredores fluviais e a orla costeira. Integrado numa rede alargada de percursos pedonais e cicláveis, oferecendo espaços de lazer, miradouros panorâmicos e um percurso ao ar livre que conta a sua história.

Esta intervenção revela-se fundamental para assegurar a permanência do monumento, pois, apesar da sua classificação como Monumento Nacional pelo Decreto de 16 de junho de 1910 (DG, n.º 136, de 23-06-1910), o aqueduto demandou manutenção durante décadas. Neste sentido, de acordo com Lemos (2006), todo elemento arquitetônico que possua valor documental e/ou de identidade ou memória de um povo, deve ser preservado. Assim, como destacado pela associação Unidos por Torres Vedras (2024):

O aqueduto é um monumento especialmente querido e admirado pelos cidadãos do concelho e por quem nos visita, constituindo, sem dúvida, um dos monumentos históricos de maior simbolismo de Torres Vedras. Infelizmente, o seu estado de conservação atual está longe de poder fazer jus aos pergaminhos e importância que tem na história e identidade de Torres Vedras. (Unidos por Torres Vedras, 2024).

Assim, a atribuição de um novo uso, que promove uma apropriação ativa por parte da comunidade, será a chave para garantir a permanência do monumento arquitetônico.

Em suma, o projeto não se limita a requalificar a estrutura ecológica da cidade, mas também promove a prática desportiva e valoriza o património. Desta forma, a requalificação do aqueduto transforma esta infraestrutura histórica num eixo catalisador do território, integrando a preservação ambiental e a valorização cultural, que são eixos estratégicos citados na ORU. Entretanto, de acordo com o site da CMTV (2025) ainda não foi concluída, sendo previsto o seu início para o segundo semestre de 2025. Mas, após a conclusão da obra, o projeto será capaz de responder positivamente a todos os objetivos estratégicos previstos na ORU caso a intervenção seja realizada conforme esperado.

4. Requalificação do antigo refeitório da Casa Hipólito em Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho

No contexto de reabilitação e estratégias de desenvolvimento urbano para a Cidade de Torres Vedras presentes no PEDU, foi planejado e inserido o Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho em 2021 (anexo 9), mais especificamente onde funcionava o antigo refeitório da Casa Hipólito (anexo 10) – empresa metalomecânica –, localizado na zona industrial da cidade, chamada de Várzea de Arenas (Museu do Ciclismo). Essa requalificação se baseia em objetivos presentes na Operação de Reabilitação Urbana de Arenas, os quais são:

[...] Privilegiar a consolidação do espaço urbano através da renovação, da regeneração e da reabilitação urbana, em detrimento da expansão da edificação, contendo a urbanização dispersa e fragmentada [...]; consolidar a cidade de Torres Vedras como um centro de serviços regional, crescentemente integrado nas dinâmicas metropolitanas [...]; promover o conhecimento, a proteção e a valorização do património natural e cultural do concelho, designadamente através da sua inventariação, classificação e divulgação [...]; qualificar e ampliar a oferta museológica concelhia, valorizando a memória e a identidade local e diversificando a atratividade turística (ORU, 2021, p. 100-106).

De acordo com Duarte (2017, p. 57-60), a metalúrgica se estabeleceu na então vila de Torres Vedras no ano de 1902, com nome de A Industrial – até a década de 1930 –, quando a principal atividade laboral era referente ao setor agrícola, com 74,6% da população ativa ocupando-se deste tipo de atividade, enquanto no ramo industrial esse número não passava de 11,7%, além dessas atividades serem referentes a pequenas unidades movidas pelo vento, força hidráulica e mão humana.

4.1 Uma análise pós requalificação

A partir de Ordonez (2023, p.01) e suas discussões sobre reuso adaptativo, citadas aqui anteriormente, utilizando de desenho técnicos, notícias, imagens e documentações, foi realizada uma análise sobre a requalificação do antigo refeitório da Casa Hipólito em Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho, tendo como foco o nível de preservação das características originais do prédio e se sua nova função está de acordo com os objetivos presentes na ORU de Arenes.

Anterior a requalificação, no piso térreo havia um armazém central, deixando grande parte desse pavimento livre (anexo 11), posteriormente este armazém foi retirado para dar lugar a uma área de convivência e recreação, com lojas, um mini velódromo, banheiro, etc, além de novos acessos para o andar superior, a partir de uma escada e um elevador, o que promove uma maior acessibilidade ao edifício, junto com o alargamento das duas escadas que já existiam (Câmara Municipal de Torres Vedras, 2016) (anexo 12). O piso térreo funciona normalmente mesmo quando a área de exposição está fechada, além disso, apesar do espaço livre ter diminuído, agora o edifício promove a interação e lazer da e para a comunidade, ressignificando o local de tal modo que abone o ponto fraco apresentado pelos moradores, o qual se referia à ausência de espaços de lazer e convívio (ORU, 2021, p. 77), sendo assim, pode-se perceber que essas ações estão de acordo com o objetivo de: “consolidar a cidade de Torres Vedras como um centro de serviços regional de maneira integrada às dinâmicas metropolitanas” (ORU, 2021, p.104). Esta área do edifício também funciona como estação de bicicletas públicas – as Agostinhas –, que fazem parte de um plano de mobilidade urbana da Câmara Municipal de Torres Vedras, acessível a grande parte da população, promovendo a redução do consumo de combustíveis fósseis e propagação de ruídos e emissões atmosféricas, de modo que ocupe pouco espaço urbano e fortaleça a cultura local (Mobilidade Torres Vedras), assim percebe-se que o prédio adquire uma função para além do caráter museológico.

Anteriormente à requalificação, o pavimento superior era ocupado pelo refeitório da Casa Hipólito – acessado pelas duas escadarias externas que ainda existem –, espaço referente a um grande vão livre com duas áreas de banheiro, sem nenhum outro adicional estético

ou funcional (anexo 13). Com a requalificação, esse espaço se tornou o principal foco de exposição, sendo esta fixa e/ou temporária, com a adição de salas administrativas, além da mudança do posicionamento dos banheiros, de tal modo que não fiquem nos extremos do ambiente ou atrapalhem a lógica da função do espaço central, portanto sua locação se deu próximo ao novo acesso criado, um pouco à esquerda na planta baixa (anexo 14). A existência de uma área qualificada e bem utilizada para atividades museológicas se enquadra no objetivo estratégico de:

Promover e valorizar a memória e a identidade local, o que acontece não só pelo espaço físico, mas também pela simbologia de estar homenageando um atleta renomado mundialmente e que era torrensense, de maneira que promove a atratividade turística (ORU, 2021, p. 106)

Sendo essa última afirmação fomentada por diversas competições ciclísticas que acabam tendo o museu como ponto de saída, chegada ou parada durante seus percursos, dando mais visibilidade não só ao equipamento mas também à cidade como um todo, de maneira que espaços antes obsoletos voltem a ser ocupados (Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho).

Percebe-se que a volumetria do edifício, sua característica de maior relevância, manteve-se após as obras de reabilitação do espaço. Tal atitude projetual denota características modernistas da época em que foi construído, a exemplo do elemento principal ser elevado do chão através de pilotis únicos (anexo 15) – ao ser construído não havia nada no térreo, ou seja, era um espaço inteiramente vazado –, portanto, ao ser requalificado em museu, o prédio não passou por mudanças significativas em sua composição, visando preservar o seu apelo estético. Pode-se identificar que sua singularidade é marcada principalmente pelos pilares em V, que combinados com o mínimo de detalhes do restante do prédio, se tornam ainda mais singulares, dando uma identidade única para aquele local, mantendo-os para preservar o valor cultural do que antes era o antigo refeitório da Casa Hipólito, assim promovendo “conhecimento, proteção e valorização desse patrimônio” (ORU, p. 106).

Ademais, de acordo com a análise projetual, é possível observar poucas mudanças estruturais nas fachadas da edificação, por exemplo a troca das janelas do alçado nascente por outras maiores que permitissem uma melhor entrada de luz e de ventilação natural se necessário (anexo 16), nessa fachada também podemos ver como a nova construção feita no térreo se relaciona com o restante da volumetria e o tanto de espaço livre que ela deixa para as atividades realizadas pela comunidade, de modo que seja um local amplo e com a ideia de interação com o exterior, mas possuindo cobertura para trazer mais conforto e a sensação de integração com o museu.

Com as análises realizadas, podemos compreender como um prédio, até então sem uso, pode servir para propósitos bastante distintos daqueles para os quais ele foi projetado. Apesar do seu caráter histórico na construção da cidade e da metalurgia naquela região, após a desativação da indústria o prédio não proporcionou nenhum uso comum para a população, dessa forma o reuso adaptativo veio como meio de sanar esse déficit da comunidade a partir da valorização e conservação do antigo refeitório, o transformando em um espaço cultural. Mesmo que a funcionalidade tenha mudado, podemos notar em matérias jornalísticas – como as presente no site do museu – e nas redes sociais do museu, que o espaço continua tendo uma relação muito importante com a cidade, ao ser uma exaltação à memória de uma personalidade mundial, que é torriense, o ciclista Joaquim Agostinho, de uma forma que a população possa usar aquele espaço para além do caráter museológico (Museu do Ciclismo).

O equipamento também desempenha outras funções, como atividades que fomentam a prática esportiva, a exemplo do “Vem andar de bicicleta”, iniciativa que além de ensinar crianças e jovens a andar de bicicleta, promove informações sobre a segurança ao utilizar esse meio de transporte, além de incentivá-lo como uso diário, o que também ocorre através das Agostinhas, tornando o edifício parte da Estratégia de Mobilidade da Cidade de Torres Vedras, o qual visa melhorar esse aspecto da região e a qualidade de vida da população (Câmara Municipal de Torres Vedras). Ao se tornar museu do ciclismo, o prédio ganhou atenção turística, seja com ciclistas ou até mesmo entusiastas do esporte indo o visitar, além das competições ciclísticas que passaram a colocar a cidade em suas rotas, atraindo espectadores, podendo deduzir que, conseqüentemente, estes eventos fomentam a economia local (Museu do Ciclismo).

Pode-se concluir que o Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho seja um elemento de extrema importância para a cidade de Torres Vedras e principalmente para a ARU de Arenes e sua população, tendo sua requalificação baseada em conceitos de sustentabilidade e preservação física e cultural, fazendo jus aos objetivos presentes no Plano de Desenvolvimento Urbano de Torres Vedras e na Operação de Reabilitação Urbana de Arenes, os quais foram aqui citados, além de ser um modelo na preservação patrimonial e histórica da região, por transformar o que antes foi uma indústria importante no desenvolvimento da cidade em um objeto de valorização de uma figura torriense, em conjunto com as ações culturais da cidade.

Conclusão

De acordo com as discussões de Choay (2006, p. 12-13) citadas anteriormente, a requalificação arquitetônica pode ser entendida para além do meio físico em que foi

aplicada, visto que os edifícios carregam histórias, além de como tal comunidade se relaciona entre si e com esses locais. Nesse contexto, as práticas de requalificação promovem o bem estar social e preservam a relação que a sociedade tem com as construções.

Nessa perspectiva, ao se pensar em Torres Vedras, tais discussões influenciaram iniciativas públicas, como o PEDU de Torres Vedras, o qual expõe diagnósticos da região e quais ações deveriam ser aplicadas para sanar as problemáticas existentes, sendo as principais tratadas no presente trabalho: abandono e falta de uso de monumentos históricos e a baixa oportunidade de espaços de lazer e comunhão.

A requalificação do Aqueduto e do antigo refeitório da Casa Hipólito para o Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho está em sintonia com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A própria natureza do projeto, que evita uma nova construção ao aproveitar estruturas existentes, já constitui uma estratégia de sustentabilidade, pois poupa recursos e não gera poluentes, conforme discutido por Ordonez. Além do benefício ambiental, a iniciativa promove um espaço sustentável para a comunidade, valorizando a cultura local e preservando o patrimônio, alinhando-se assim com as diretrizes do PEDU e da ORU de Arenes.

Em síntese, o projeto do Museu do Ciclismo, por meio de sua requalificação arquitetônica, valorização patrimonial, promoção cultural e integração comunitária, alinha-se diretamente com os eixos estratégicos da ORU (anexo 4): objetivo 3 da valorização territorial, 1 da competitividade territorial e os objetivos 2 e 4 de valorização cultural. Por fim, percebe-se que a intervenção não apenas responde positivamente às diretrizes da ORU, mas também, através do reuso adaptativo, agrega valor histórico-cultural para Arenes, cumprindo integralmente os objetivos propostos.

Em relação ao Aqueduto, o projeto objetiva a conservação e requalificação, restabelecimento da funcionalidade e estética, promoção da durabilidade e integração com o entorno. Tais objetivos respondem aos seguintes eixos listados na ORU (anexo 4): objetivos 1 e 3 de qualificação e preservação ambiental, 4 e 8 de valorização territorial, 5 de equidade social e 3 de valorização cultural. Assim, é evidente que a execução dessas ações não apenas restaurará o Aqueduto, mas também agregará valor histórico-cultural a Arenes, mediante reparos estruturais e a promoção de atividades pedonais e educativas, criando um corredor cultural que preserva e celebra a memória da comunidade.

Ademais, a pesquisa consolida a parceria do do Grupo de Pesquisa Morfologia e Usos da Arquitetura (MUsA/UFRN) com a Câmara Municipal para acompanhar a regeneração urbana e aprofundar os estudos em Torres Vedras.

Referências

CÂMARA MUNICIPAL DE TORRES VEDRAS. Operação de Reabilitação Urbana Sistemática da Área de Reabilitação Urbana da Encosta de S. Vicente na cidade de Torres Vedras. Torres Vedras, Abril 2018. Disponível em: <<https://www.cm-tvedras.pt/ordenamento/ambito-municipal/regeneracao-urbana/areas-de-reabilitacao-urbana/encosta-de-sao-vicente>> . Acesso: 17 ago. 2024.

CÂMARA MUNICIPAL DE TORRES VEDRAS. Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano. Torres Vedras, Setembro 2015.

CAVALCANTE, E. S.; NASCIMENTO, J. C. . Do Centro Histórico à Cidade Histórica: programas, projetos e ações de Regeneração Urbana em Torres Vedras, Portugal. Anais do XVI SHCU. Salvador: UFBA, 2021.

CHOAY, Françoise. A alegoria do patrimônio. Unesp, 2017.

DUARTE, Joaquim. Casa Hipólito - História, memórias e património de uma fábrica torriense. Dissertação (Mestrado em Estudos do Património) - Universidade Aberta, Lisboa, 2017.

LEMOS, Carlos Alberto Cerqueira. O que é patrimônio histórico. São Paulo: Brasiliense, 1981.

ORDONEZ, Victoria. Reuso adaptativo de patrimônios históricos: uma abordagem sustentável para as cidades. Revista Restauro: arte | museu | arquitetura | cidade. Disponível em <https://revistarestauro.com.br/> Acesso em 26 de agosto de 2025.

MUSEU DO CICLISMO JOAQUIM AGOSTINHO. Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho, s.d. Sobre o museu: Edifício/espço Hipólito. Disponível em: <https://mcjoaquimagostinho.pt/sobre-o-museu/edificio-esp%C3%A7o-hipolito>. Acesso em 29 de ago. de 2025.

MUSEU DO CICLISMO JOAQUIM AGOSTINHO. Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho, s.d.. Notícias. Disponível em: <https://mcjoaquimagostinho.pt/noticias>. Acesso em 29 de ago. de 2025.

VEDRAS, Câmara Municipal de Torres. Reabilitação do Antigo Refeitório da Casa Hipólito: Museu Joaquim Agostinho|Torres Vedras: Memória Descritiva. Torres Vedras, 2016.

MOBILIDADE TORRES VEDRAS. Mobilidade Torres Vedras, s.d.. Bicicletas Urbanas. Disponível em: <https://www.mobilidade-tvedras.pt/bicicletas-urbanas/>. Acesso em: 29 de ago. de 2025.

CÂMARA MUNICIPAL DE TORRES VEDRAS. Câmara Municipal de Torres Vedras, s.d.. Mobilidade. Disponível em: <https://www.cm-tvedras.pt/mobilidade>. Acesso em: 29 de ago. de 2025.

PORTUGAL. Decreto de 16 de junho de 1910. 16 jun. 1910. Publicado no Diário do Governo, Lisboa, n. 136, p. 2063-2064, 23 jun. 1910. Disponível em: https://www.museualbertosampaio.gov.pt/wp-content/uploads/2020/07/Decreto23_06_1910-max.pdf. Acesso em: 29 ago. 2025.

CÂMARA MUNICIPAL DE TORRES VEDRAS. Reabilitação do Aqueduto de Torres Vedras. Câmara Municipal de Torres Vedras, Torres Vedras, 2025. Disponível em: <https://www.cm-tvedras.pt/artigos/detalhes/reabilitacao-do-aqueduto-de-torres-vedras>. Acesso em: 30 ago. 2025.

ESTRATÉGIA Europa 2020. Portugal 2020, 2021. Disponível em <<https://portugal2020.pt/glossario/estrategia-europa-2020/>>. Acesso em: 29 ago. 2025.

CÂMARA MUNICIPAL DE TORRES VEDRAS. Comemoração das Jornadas Europeias do Património.. Câmara Municipal de Torres Vedras, Torres Vedras, 2017. Disponível em: <https://www.cm-tvedras.pt/agenda/detalhes/73991/>. Acesso em: 30 ago. 2025.

Anexos



Quadro síntese dos programas, instrumentos e projetos implementados na esfera de
Torres Vedras



Mapa de localização da área estudada.



Delimitação ORU de Arenes e edifícios analisados.



Quadro síntese - Relação entre objetivos, ações, ODS e Eixos Estratégicos da ORU.



Aqueduto de Torres Vedras



Exemplos de danos encontrados no Aqueduto.



Mapeamento de danos encontrados no Aqueduto - alçado Norte



Mapeamento de danos encontrados no aqueduto



Museu do Ciclismo Joaquim Agostinho



Construção do antigo refeitório da Casa Hipólito.



Planta baixa pavimento térreo antes da requalificação.



Planta baixa pavimento térreo após requalificação.



Planta baixa pavimento superior antes da requalificação.



Planta baixa pavimento superior após requalificação.



Alçada poente antes da requalificação.



Alçada nascente após requalificação.

CÓDIGO: HS1005

AUTOR: RAILANNE DE LIMA PAULINO

ORIENTADOR: EMANUEL RAMOS CAVALCANTI

TÍTULO: Proposta tipológica para os pequenos municípios potiguares da Mesorregião Agreste Potiguar (MAP)

Resumo

O Estatuto da Cidade foi o marco da regulamentação da política urbana no país, todavia, a legislação foi pensada principalmente a partir da lógica dos médios e grandes municípios, desconsiderando algumas especificidades referentes aos de menor porte. Os pequenos municípios são considerados aqueles com população abaixo de 100 mil habitantes conforme o IBGE, correspondendo a uma parcela de 97,6% do total do estado do Rio Grande do Norte. O objetivo da pesquisa consiste em contribuir com os processos de implementação do planejamento e da gestão urbana e regional no marco do Estatuto da Cidade (2001) e da obrigatoriedade de elaboração de plano diretor a partir dos limites e dificuldades dos pequenos municípios brasileiros. Foram analisadas as variáveis populacionais, de finanças públicas e planejamento urbano que foram categorizadas em tabelas, fichas de caracterização e mapas. Constatou-se a existência de problemáticas, como os baixos índices de desenvolvimento quanto aos aspectos demográficos, fragilidades de arrecadação e alta dependência financeira com relação às finanças públicas e ausência de instrumentos normativos necessários para o planejamento urbano. Em suma, os dados reunidos irão nortear a elaboração da matriz tipológica, que auxiliará no entendimento das especificidades municipais e formulação de políticas públicas adequadas.

Palavras-chave: Pequenos municípios, Planejamento urbano, Rio Grande do Norte, Agreste

TITLE: Typological Proposal for Small Municipalities of the Agreste Potiguar Mesoregion (MAP)

Abstract

The City Statute marked the regulation of urban policy in Brazil; however, the legislation was mainly conceived from the perspective of medium and large municipalities, disregarding certain specificities of smaller ones. Small municipalities are considered those with populations below 100,000 inhabitants, according to IBGE, representing 97.6% of all municipalities in the state of Rio Grande do Norte. The

objective of this research is to contribute to the processes of implementing urban and regional planning and management within the framework of the City Statute (2001) and the requirement for developing master plans, considering the limitations and challenges faced by small Brazilian municipalities. Population, public finance, and urban planning variables were analyzed and categorized into tables, characterization sheets, and maps. The study identified several issues, such as low development indicators in demographic aspects, weaknesses in revenue generation and high financial dependence on public funds, as well as the absence of normative instruments required for urban planning. In summary, the collected data will guide the development of a typological matrix, which will assist in understanding municipal specificities and in formulating adequate public policies.

Keywords: Small municipalities, Urban planning, Rio Grande do Norte, Agreste

Introdução

O Estatuto da Cidade (EC), Lei Federal Nº 10.257, de 10 de julho de 2001, o marco da regulamentação da Política Urbana estabelecida na Constituição Federal de 1988, em seus artigos 182 e 183. A lei foi de fundamental impacto na divulgação e consolidação dos instrumentos para o planejamento e a gestão urbana, com destaque ao protagonismo do Plano Diretor Municipal. Conforme o artigo 41 do EC a obrigatoriedade do Plano Diretor é exigida para os municípios:

[...] I – com mais de vinte mil habitantes; II – integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas; III – onde o Poder Público municipal pretenda utilizar os instrumentos previstos no § 4º do art. 182 da Constituição Federal; IV – integrantes de áreas de especial interesse turístico; V – inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional. VI - incluídas no cadastro nacional de Municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (Brasil, 2008, 27)

O Estatuto da Cidade constitui-se de um elemento pensado a partir da lógica e das problemáticas dos municípios isolados de médio e grande porte, que constituem uma parcela de apenas 8,6% do total populacional do país. Já os pequenos municípios representam, populacionalmente, 35,7 % do total. Desse modo, se constitui um desafio o planejamento urbano nos municípios de pequeno porte, tanto associados ao planejamento do território, quanto à baixa disponibilidade de recursos (Gomes et al., 2022).

De acordo com a classificação do IBGE (2016), são pequenos municípios aqueles que possuem população menor que 100.000 habitantes. Dentre os 167 municípios do estado do Rio Grande do Norte, 97,6% enquadram-se na classificação de pequenos municípios, excetuando-se apenas Natal, Mossoró, Parnamirim e São Gonçalo do Amarante.

Dentro desse mesmo recorte apenas 14,7% encontram-se no intervalo populacional entre 20.000 e 100.000 habitantes. A maioria dos municípios possuem população menor que 20.000 habitantes, correspondendo ao percentual de 85,3%. Desse modo, pode-se

afirmar, como para o país, que o Rio Grande do Norte é um estado com uma parcela significativa de pequenos municípios.

Conforme a Divisão Regional do Brasil divulgada pelo IBGE, em 1990, o estado do Rio Grande do Norte está subdividido em quatro Mesorregiões: Agreste, Leste, Central e Oeste (Figura 1). O plano de pesquisa objetivou como recorte geográfico inicial a Mesorregião Agreste Potiguar (MAP), composta na sua totalidade por pequenos municípios, 43 no total, sendo 88% destes abaixo de 20.000 habitantes (38 municípios) e apenas 12% entre 20.000 e 100.000 habitantes (cinco municípios).

O objetivo da pesquisa consistiu em contribuir com os processos de implementação do planejamento e da gestão urbana e regional no marco do Estatuto da Cidade (2001) e da obrigatoriedade de elaboração de plano diretor a partir dos limites e dificuldades dos pequenos municípios brasileiros.

Este relatório foi estruturado em quatro partes: esta introdução, aspectos metodológicos, resultados e considerações finais. Os resultados obtidos foram agrupados em três eixos principais. O primeiro deu-se sobre os dados demográficos municipais, visando caracterizar aspectos populacionais da MAP. Em seguida foram analisados os dados de finanças públicas relacionados à capacidade arrecadatória e, por fim, foi abordada a temática dos instrumentos de planejamento e gestão territorial aplicados no âmbito municipal.

Metodologia

Como aspectos metodológicos para a pesquisa foram considerados dados quantitativos, para posterior realização de uma análise qualitativa através de categorizações. Para informações acerca dos dados populacionais foram coletados e analisados dados disponibilizados pelo IBGE referentes aos Censos de 1980 a 2022, considerando as variáveis de quantitativo populacional e população residente por situação de domicílio. Além disso, foram analisados dados disponibilizados pelo Instituto Cidades Sustentáveis, que avaliam os níveis relativos ao IDSC (Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades). Por fim foram analisados os dados disponibilizados pelo DataSus referentes ao índice de Gini, a fim de verificar as desigualdades com relação à renda presentes em cada município.

No que se refere às finanças públicas, foram analisados e categorizados os dados municipais disponibilizados pelo SICONFI (Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro) do ano de 2023. Também foram apurados dados do IBGE do ano de 2021, na Pesquisa de Informações Básicas Municipais, acerca de dados sobre legislação e instrumentos de planejamento. Em seguida, foram elaboradas as fichas de caracterização de cada município da Mesorregião contendo os dados

categorizados com a finalidade de auxiliar no estabelecimento de critérios para a realização da matriz tipológica.

Para as produções cartográficas foi utilizado o software QGis sob o sistema de coordenadas geográficas Datum Sirgas 2000. Além disso, foi utilizada a revisão bibliográfica da literatura para embasamento dos dados aferidos.

Resultados e Discussões

População

Com base na análise do panorama histórico dos Censos de 1980 a 2022, foi a partir da década de 1990 que a população por situação de domicílio em zonas urbanas passou a superar aquela vivida nas zonas rurais na MAP, tendência que se apresenta desde a década de 1980 quando analisados os dados do estado do Rio Grande do Norte. Conforme o Censo de 2022, no estado do Rio Grande do Norte a população por situação de domicílio distribui-se em 81,96% na zona urbana e 18,02% na zona rural (Figura 2). Os dados relacionados à população residente em zonas rurais apresentam-se de maneira mais significativa quanto obtém-se como recorte a Mesorregião Agreste Potiguar, que apresenta percentuais populacionais de 64,6% na zona urbana e 35,4% na zona rural (Figura 3).

Na MAP a população por situação de domicílio distribui-se em. Os dados relacionados à população residente em zonas rurais apresentam-se de maneira mais significativa quanto obtém-se como recorte a Mesorregião Agreste Potiguar, que apresenta percentuais de 35,4% do total populacional.

São caracterizadas como áreas urbanas aquelas que se inserem no perímetro urbano conforme definido pela legislação do município, sendo consideradas áreas rurais as que excedem tal delimitação (Lage, 2022). Em contrapartida ao discurso do “Brasil Urbano” evidencia-se os casos dos municípios que vivem em dinâmicas ainda tipicamente rurais.

Na MAP, tomando como base o último Censo, de 2022, destacam-se os casos dos municípios de Bento Fernandes, Ielmo Marinho, Boa Saúde, Jundiá, Lagoa de Pedras, Senador Elói de Souza e Serrinha, cuja população da zona rural excede a da zona urbana. Como destaque, apresenta-se o caso de Ielmo Marinho, integrante da Região Metropolitana de Natal (RMN) que apresenta 86,80% de população residente em zonas rurais, representando o maior índice do Estado do Rio Grande do Norte. Também são encontrados percentuais significativos de população residente em áreas não urbanas nas cidades de Jundiá e Lagoa de Pedras, com valores de 77,51% e 70,67%, respectivamente.

A figura 4 indica que a maioria dos municípios possuem uma população urbana entre 65% e 80%. Do total, apenas quatro municípios apresentam percentuais de

população urbana superior a 80%, com destaque para São José do Campestre, que apresenta o maior percentual da Mesorregião com 89,24%.

O indicador denominado índice de Gini tem como objetivo a aferição das desigualdades existentes na distribuição de renda per capita entre os indivíduos. O índice varia entre os valores de 0 a 1, onde os valores mais próximos de 0 indicam uma maior igualdade na distribuição de renda e 1 a maior concentração de renda. Conforme os dados de 2010, a média encontrada foi de 0,5112, com o menor valor sendo registrado no município de Passagem, com 0,4094, indicando uma maior equidade na distribuição da renda, e o maior valor encontrado em Santo Antônio, com 0,5841.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é um indicador cuja finalidade consiste na análise multidimensional do desenvolvimento, abrangendo os pilares da saúde, educação e renda. O índice varia entre os valores de 0 a 1, dividindo-se em cinco categorias: muito baixo (0 a 0,499), baixo (0,500 a 0,599), médio (0,600 a 0,699), alto (0,700 a 0,799) e muito alto (0,800 a 1). Conforme dados da Organização das Nações Unidas (ONU), a partir dos censos realizados em 1991, 2000 e 2010, a maioria dos municípios da MAP possui o IDHM considerado baixo, presente em 29 dos 43 municípios, com destaque para Parazinho, que apresentou o menor índice, registrando a pontuação de 0,549 pontos. Já os demais municípios apresentaram a classificação de médio, sendo a cidade de Santa Cruz como detentora da maior pontuação, com 0,635 pontos.

O Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC) tem como finalidade a aferição do cumprimento de cada um dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela Agenda 2030. O indicador apresenta dados de cada cidade quanto a sua pontuação e classificação geral no contexto nacional, bem como a avaliação do nível do desenvolvimento sustentável, que subdivide-se em cinco categorias: muito baixo (0 a 39,99), baixo (40 a 49,99), médio (50 a 59,99), alto (60 a 79,99) e muito alto (80 a 100).

Para o enfoque da pesquisa foram realizadas análises referentes aos 43 municípios da MAP, sendo especificados dados referentes à pontuação geral, nível, classificação geral e as pontuações dos ODS 9 relacionado à "Indústria, Inovação e Infraestrutura e ODS 11, relativo a "Cidades e comunidades sustentáveis".

Na MAP observa-se a predominância do nível de desenvolvimento considerado "baixo", encontrado em 34 municípios, correspondendo a 79,1% do total (Figura 5). O nível considerado como "muito baixo" foi encontrado em sete municípios, com destaque para Barcelona, que apresentou a menor pontuação da Mesorregião, com o valor de 38,33 pontos. As maiores pontuações foram classificadas como de nível "médio", presentes nos municípios de Campo Redondo e Lajes Pintadas, apresentando 50,63 e 51,60 pontos, respectivamente.

Finanças

O rearranjo federativo estabelecido pela Constituição Federal de 1988, conferiu aos municípios maior autonomia na competência de arrecadação. A descentralização política estabelecida pelo marco legislativo evidenciou problemáticas como a

administração pública arcaica e ineficiente e dependência financeira presentes principalmente nos pequenos municípios (Lage, 2022).

Para a análise dos dados financeiros dos municípios foram obtidos dados do Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro do ano de 2023. Para isso, foram coletadas informações referentes à composição das receitas orçamentárias, que são compostas pelas categorias de receitas correntes e de capital. Para fins didáticos, na tabela referente a participação relativa das receitas municipais (Figura 7), foram subdivididas as receitas correntes, referentes às tributárias; as de transferências; e outras, compostas pelas receitas patrimoniais e de serviços.

A principal fonte das receitas tributárias municipais advém dos impostos de competência municipal estabelecidos pela Constituição Federal de 1988, definido como Imposto sobre Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU), Imposto de Transmissão Inter vivos (ITIV) e Impostos sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISSQN). Ademais, também estão incluídas nas receitas tributárias as taxas municipais referentes a iluminação pública, coleta de lixo e outros serviços públicos, além das contribuições de melhoria (Brasil, 1988).

A receita de transferências é composta pelas transferências advindas da união e das suas entidades, sendo compostas principalmente pela cota referente ao fundo de participação municipal (FPM), transferências das compensações financeiras pela exploração de recursos naturais, e referentes a direitos assistenciais básicos como aos recursos do Sistema único de Saúde (SUS) e Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação (FUNDEB), além da cota parte referente aos impostos de outras competências, como (Imposto sobre Produtos Industrializados) IPI, Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA).

A dependência financeira é compreendida como um dos principais desafios relacionados ao planejamento e a gestão territorial no âmbito dos pequenos municípios (Lage, 2022). Através das análises é possível indicar tais fragilidades nos municípios da MAP quanto à sua capacidade arrecadatória, conferindo índices pouco expressivos das receitas tributárias em comparação a totalidade das receitas municipais. O menor percentual de arrecadação foi registrado no município de Várzea, com apenas 0,67% das receitas orçamentárias totais sendo compostos por impostos, taxas e contribuições de melhoria. Em contrapartida, os percentuais referentes às receitas de transferências apresentaram quantidades expressivas na composição da receita municipal, apresentando a média de 89,50%. O maior percentual foi registrado no município de São Pedro, com 96,78% das receitas orçamentárias sendo compostas por transferência, já o menor índice encontra-se no município de Jandaíra, com 80,61% de receitas de transferência, construindo uma parcela significativa das receitas totais. Conforme Lage (2022), os baixos índices de arrecadação tributária presentes nos pequenos municípios refletem as dificuldades da cobrança devido à estreiteza das relações entre a população e os agentes políticos, o que colabora com a continuidade da problemática da dependência financeira.

Para a categorização de outras receitas foi considerado o somatório referente às receitas de contribuições, patrimoniais, de serviços, outras receitas correntes e receitas

de capital. O maior percentual foi encontrado no município de Vera Cruz, correspondendo a 13,41% e o menor em Serra de São Bento, com 0,53%.

Planejamento

O Plano Diretor se constitui como “instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana” (Brasil, 2008, p.11). Dentre os 43 municípios da MAP, apenas oito possuem plano diretor (Figura 8). Neste recorte, o percentual de 75% apresenta os requisitos para a obrigatoriedade estabelecidos pelo Estatuto da Cidade. Conforme estabelecido pelo EC, em seu art. 40 § 3º “A lei que instituir o plano diretor deverá ser revista, pelo menos, a cada dez anos”. Todavia, observa-se no caso da MAP a falta de atualização do instrumento legislativo, que não apresentou revisões em mais de uma década em cinco dos oito municípios.

Os dados revelam as fragilidades diante da implementação de instrumentos de planejamento urbano nos pequenos municípios. Destaca-se novamente o caso do município de Ielmo Marinho, integrante da RMN, o que lhe confere a obrigatoriedade de plano diretor, embora ainda não possua o instrumento nem esteja em fase de elaboração.

Na ausência do plano diretor, foram identificadas outras leis que regem o planejamento territorial, como de perímetro urbano, de parcelamento do solo, códigos de obras e de uso e ocupação do solo. Através das análises feitas foi possível observar municípios que não possuem nenhuma legislação específica acerca do planejamento urbano, como são os casos de Brejinho, Boa Saúde, Jundiá, Lagoa de Pedras, Lagoa Salgada, Passagem e Várzea. Entre os instrumentos legislativos presentes nos municípios destacam-se como principais a lei de perímetro urbano, presente em 35 municípios, equivalente a 81% do total. Ademais, os códigos de obras, que versam sobre as regras e diretrizes para as construções, estão presentes em apenas 30% dos municípios (Figura 9). Os dados também revelam uma escassez de legislação acerca de regularização fundiária e parcelamento do solo, presentes em apenas 23% e 32%, respectivamente.

A Pesquisa de Informações Básicas Municipais também revela fragilidades quanto a outros instrumentos de planejamento urbano. A exemplo pode-se citar a legislação sobre zoneamento ambiental, presente em apenas seis municípios, além da legislação sobre áreas especiais de interesse social, incidente em apenas 11 dos 43 municípios.

Conclusão

A partir da análise dos dados foi possível observar correspondência de dinâmicas dos pequenos municípios da MAP com as problemáticas gerais já abordadas em estudos de maior abrangência presentes na literatura.

A análise dos dados populacionais revelou a presença de uma Mesorregião com índices predominantemente baixos, tanto para os critérios de desenvolvimento humano, quanto de desenvolvimento sustentável. Ademais, destacam-se os casos dos municípios predominantemente rurais, revelando-se a necessidade de estudos de como a questão é tratada no âmbito da gestão urbana municipal.

No tocante aos dados financeiros foram constatados a persistência de problemas citados pela literatura, como a fragilidade na arrecadação tributária própria e alta dependência financeira das transferências intergovernamentais. Além disso, diante dos dados analisados acerca da legislação foi perceptível a observação das fragilidades nos pequenos municípios acerca do planejamento urbano. O Estatuto da Cidade, embora apresente diretrizes para o planejamento urbano, não estabeleceu critérios claros acerca dos pequenos núcleos urbanos.

Como desdobramentos para as próximas etapas da pesquisa, pretende-se a elaboração da das tipologias dos municípios com base nos critérios analisados. A matriz tipológica tem com o objetivo de equacionar melhor a realidade rural, com o conhecimento mais aprofundado da realidade estadual mesorregional do RN, em contraste com os estudos nacionais mais abrangentes e homogeneizantes, o que implica na formulação de políticas públicas adequadas.

Referências

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República,. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.

BRASIL. Estatuto da Cidade. 3. ed. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2008. 102 p.

GOMES, Andrea R.; MORETTI, Ricardo de S.; OLIVEIRA, Vanessa E. de. Tipologia dos municípios e a gestão das políticas públicas urbanas no federalismo brasileiro. Oculum Ensaios: Revista de Arquitetura e Urbanismo, Campinas, v. 19, p. 1-20, 2022.

LAGE, Selenia Duarte Lage e. Planejamento e gestão territorial de municípios de pequeno porte populacional: análise da relevância do plano diretor e da adequação do estatuto da cidade aos municípios de até vinte mil habitantes. 2022. 1 recurso online (312 p.) Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: 20.500.12733/4910

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (BRASIL).
Painel IDHM. [S. l.], [s. d.]. Disponível
em: <https://www.undp.org/pt/brazil/desenvolvimento-humano/painel-idhm>. Acesso em:
1 ago. 2025

Anexos



Figura 1 : Mesorregiões do Rio Grande do Norte Fonte: elaborado no âmbito da pesquisa



Figura 2: População por situação de domicílio de 1980 a 2022 - RN Fonte: elaborado no âmbito da pesquisa



Figura 3: População por situação de domicílio de 1980 a 2022 - MAP Fonte: elaborado no âmbito da pesquisa



Figura 4: População por situação de domicílio - MAP Fonte: elaborado no âmbito da pesquisa



Figura 5: Distribuição dos níveis do IDSC Fonte: elaborado no âmbito da pesquisa



Figura 6: Níveis de IDSC - MAP Fonte: elaborado no âmbito da pesquisa



Figura 7: Participação relativa das receitas municipais do ano de 2023 Fonte: elaborado no âmbito da pesquisa



Figura 8: Situação dos municípios da MAP quanto à existência de plano diretor Fonte: elaborado no âmbito da pesquisa



Figura 9: Situação dos municípios da MAP quanto à existência de códigos de obras
Fonte: elaborado no âmbito da pesquisa

CÓDIGO: HS1043

AUTOR: ANA LUIZA MAFRA COSTA

ORIENTADOR: HEITOR DE ANDRADE SILVA

TÍTULO: A resiliência na Arquitetura: análise de projetos arquitetônicos de habitações de interesse social

Resumo

Este artigo explora soluções arquitetônicas promotoras de resiliência em projetos de Habitação de Interesse Social (HIS), com base na análise de concursos públicos realizados no Brasil e em Portugal, entre 2013 e 2023. A pesquisa evidencia a resiliência na arquitetura, definida pela capacidade de adaptação e transformação dos espaços frente a adversidades, como promotora de projetos que se alinham aos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. O artigo tem como foco realizar uma análise aprofundada de soluções referentes às categorias de Adequação e Conforto Ambiental em HIS. Para isso, sua metodologia adota um sistema de avaliação qualitativo, utilizando uma matriz multicritérios, com ênfase na compreensão e interpretação das soluções projetuais para HIS sob a perspectiva da Adequação e Conforto Ambiental. Os resultados apresentam as soluções presentes nos projetos dos concursos, as quais foram representadas graficamente por meio de diagramas, que auxiliam na compreensão e comparação das diversas estratégias projetuais identificadas. Por fim, o estudo permitiu o desenvolvimento de um diversificado repertório de estratégias promotoras de resiliência em HIS nos contextos brasileiros e portugueses.

Palavras-chave: Resiliência; Habitação de Interesse Social; Conforto Ambiental.

TITLE: Resilience in Architecture: analysis of architectural projects for social housing

Abstract

This article explores architectural solutions that promote resilience in Social Housing (SHS) projects, based on an analysis of public competitions held in Brazil and Portugal between 2013 and 2023. The research highlights resilience in architecture, defined as the capacity for adaptation and transformation of spaces in the face of adversity, as a promoter of projects that align with the 17 UN Sustainable Development Goals. The article focuses on conducting an in-depth analysis of solutions related to the categories of Environmental Adequacy and Comfort in SHS. To this end, its methodology adopts a

qualitative evaluation system using a multi-criteria matrix, with an emphasis on understanding and interpreting SHS design solutions from the perspective of Environmental Adequacy and Comfort. The results present the solutions present in the competition projects, which were graphically represented through diagrams, which aid in the understanding and comparison of the various design strategies identified. Finally, the study allowed the development of a diverse repertoire of strategies promoting resilience in HIS in the Brazilian and Portuguese contexts.

Keywords: Resilience; Social Housing; Environmental Comfort.

Introdução

A resiliência na arquitetura é fundamentada pela capacidade da edificação adaptar-se e transformar-se, de maneira flexível, a diversos impactos ocasionados ao decorrer do tempo (Garcia; Vale, 2017). Desde 1970, seu conceito vem sendo aplicado em áreas de conhecimento como o Urbanismo e a Ecologia, sendo associado a cenários que buscam reduzir ou mitigar eventos ambientais extremos (Parreira; Villa, 2020).

A intensificação do aquecimento global, consequências como o aumento das temperaturas, a elevação do nível do mar e a crise hídrica alertam para a necessidade que as transformações humanas no ambiente priorizem cada vez mais a construção de um habitat sustentável. Para isso, estratégias que promovem a resiliência na arquitetura, com o uso consciente dos recursos hídricos, energéticos e materiais, devem se relacionar com o desenvolvimento sustentável em suas três dimensões: social, ecológico e econômico.

Com esse contexto, a pesquisa, que teve início em 2023, investiga as estratégias de flexibilidade, conforto e adequação ambiental presentes em projetos arquitetônicos de Habitação de Interesse Social (HIS), desenvolvidos em concursos tanto de Portugal quanto do Brasil, entre 2013 e 2023. Esse artigo focará em adequação e conforto ambiental.

A adequação consiste em intervir no ambiente de maneira sustentável, considerando a utilização racional dos recursos naturais, estratégias de manejo e destinação de resíduos, o uso de materiais com baixa concentração de carbono, entre outros fatores que se relacionam com o desenvolvimento humano na dimensão individual e coletiva. (Spirn, 2020 apud Bortoli e Villa, 1995). Por sua vez, o conforto é definido como um conjunto de condições ambientais que asseguram a qualidade do ar, proporcionam ao ser humano bem-estar térmico, visual, acústico, olfativo e antropométrico, de acordo com Bortoli e Villa (2020 apud Lamberts, Dutra e Pereira, 2013).

O estudo foi desenvolvido em três etapas. Na primeira ocorreu a catalogação dos 120 projetos e possibilitou uma análise comparativa das soluções identificadas. Na segunda etapa, foram gerados gráficos e tabelas para sistematização dos dados, de maneira a evidenciar as estratégias com melhor desempenho. Por fim, este artigo constitui o foco da terceira etapa, cujo objetivo é realizar uma análise aprofundada das soluções mais relevantes para a categoria de Adequação e Conforto Ambiental, suas descrições e

representações gráficas por meio de diagramas, visando facilitar a compreensão das estratégias projetuais.

Dessa forma, ao visar a construção de HIS mais sustentáveis e resilientes, com conforto e adequação ambiental, o estudo está relacionado aos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Contribuindo principalmente para os seguintes objetivos: 3 - Saúde e Bem Estar, 7 - Energia Limpa e Acessível, 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, e 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima.

A estrutura do artigo está organizada em cinco seções principais. A Metodologia apresenta a abordagem que foi adotada, os critérios de análise utilizados e a seleção dos projetos. Em seguida, a seção Soluções traz as estratégias projetuais identificadas e suas respectivas representações, organizadas em micro-categorias relacionadas a Adequação e Conforto Ambiental. Na seção Discussões, é realizado um comparativo dos resultados obtidos, evidenciando distinções e convergências entre os projetos analisados no Brasil e em Portugal. Finalizando, a Conclusão sintetiza as contribuições da pesquisa e aponta caminhos para futuros estudos acerca da resiliência, adequação e conforto ambiental em habitações de interesse social.

Metodologia

A pesquisa adota um sistema de avaliação qualitativo, com foco na compreensão e interpretação das soluções projetuais para habitações de interesse social (HIS) no Brasil e em Portugal, sob a perspectiva da adequação e conforto ambiental. Para avaliar os diversos aspectos dos projetos, foi utilizado um modelo de matriz multicritério proposto por Drexler e Khouli (2012). As escalas presentes na matriz, possibilitaram a aplicação de filtros para seleção dos projetos mais bem avaliados. A partir destes projetos foi realizada a identificação das soluções arquitetônicas mais relevantes, as quais compõem o recorte investigativo desta fase da pesquisa.

A fase inicial da pesquisa trabalhou com um universo de 120 projetos, compostos pelos três primeiros colocados em 38 concursos públicos de Habitação de Interesse Social (HIS), realizados entre 2013 e 2023, no contexto do Brasil e de Portugal. Sendo possível uma análise comparativa que considera as dinâmicas socioculturais, ambientais e construtivas de ambos os países. A aplicação da matriz multicritério permitiu para além da avaliação individual dos projetos, a organização das soluções arquitetônicas de maneira sistemática em níveis analíticos.

2.1 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE E ESCALA NUMÉRICA

Para a análise dos critérios relacionados a adequação e conforto ambiental, foi desenvolvida uma etapa de classificação utilizando uma escala numérica (0, 1 ou 2). A pontuação zero, corresponde a ausência ou o baixo cumprimento do critério, sinalizando aspectos que merecem maior atenção, mesmo se tratando de projetos de concursos com

desenho técnico preliminar (Silva; Farias; Rodrigues, 2024). Por sua vez, o um e o dois, representam o cumprimento parcial e total do critério, respectivamente.

O processo de atribuição das notas foi realizado independentemente por dois pesquisadores diferentes. No caso de divergências, foi debatido acerca dos critérios até se chegar a um consenso, promovendo assim mais confiabilidade à metodologia. Após essa etapa, os projetos mais bem avaliados para cada categoria foram analisados novamente e tiveram suas estratégias representadas por meio de diagramas, facilitando a compreensão e comparação dos resultados.

2.2 ORGANIZAÇÃO DAS MESOCATEGORIAS

As soluções identificadas foram organizadas em quatro mesocategorias, elaboradas para sistematizar diferentes aspectos da macrocategoria Adequação e Conforto Ambiental. Cada mesocategoria é composta por outras quatro micro-categorias, representadas graficamente com os seus respectivos elementos principais:

Manejo da água e de resíduos (Figura 1) – considera práticas que agregam ao uso consciente da água, bem como o gerenciamento dos resíduos produzidos, com redução, reuso, reciclagem e/ou tratamento.

Eficiência energética (Figura 2) – engloba fatores que contribuem para diminuição dos gastos em recursos energéticos, reduzindo desperdícios, custos e impactos ambientais.

Sistema estrutural e materiais construtivos (Figura 3) – analisa a influência das escolhas construtivas para a diminuição da pegada de carbono do prédio e eficiência energética.

Conforto ambiental (Figura 4) – associado a estratégias que garantem o bem-estar térmico e acústico.

2.3 SELEÇÃO DOS PROJETOS E SÍNTESE DOS DADOS

Para a seleção dos projetos mais bem pontuados na matriz multicritério, considerou-se haver possibilidades tanto de coincidência como de diversidade de soluções para cada categoria. Por essa razão, foram selecionados nesta fase os 5 projetos mais bem pontuados por micro-categoria. Sendo estabelecidos quatro critérios de desempate para a seleção:

1. Apresentar pontuação máxima (2) na micro-categoria;
2. Estar entre as maiores pontuações na meso-categoria;
3. Estar entre as maiores pontuações na macro-categoria;
4. Persistindo o empate, é escolhido aquele com o maior nível de detalhamento e diversidade da solução.

A identificação e registro das soluções para cada micro-categoria ocorreu a partir da análise das pranchas pertencentes aos cinco projetos de concursos de Habitação de Interesse Social (HIS) selecionados. Após esse apanhado, foi verificada a diversidade de respostas por micro-categoria, enumerando as soluções distintas, para caracterização destas com uma descrição explicativa em conjunto com uma representação gráfica simplificada por meio de redesenhos e sistematização.

Resultados e Discussões

As estratégias referentes à Adequação e Conforto Ambiental, presentes em projetos de Habitação de Interesse Social no Brasil e em Portugal, no recorte temporal entre 2013 e 2023, serão apresentadas por meso-categorias: Manejo da Água e dos Resíduos, Eficiência Energética, Sistemas Estruturais e Materiais Construtivos, e Conforto Ambiental.

3.1 MANEJO DA ÁGUA E DOS RESÍDUOS

3.1.1 Captação de água da chuva

A solução identificada foi a “Recolhimento das águas pluviais na cobertura e tratamento em reservatório inferior”. O sistema de captação e reutilização das águas pluviais ocorre individualmente em cada unidade habitacional. Por meio da cobertura, o processo se inicia com a água das chuvas escorrendo até as calhas, para então ser conduzida por prumadas internas ou externas, que podem ser dissimuladas na própria estrutura da fachada, até o ponto de tratamento e armazenamento (Figura 5).

Após passar por um filtro que retenha os resíduos maiores e descarte os primeiros minutos da chuva, em geral com maior porcentagem de poluentes do telhado, a água pode seguir para aplicação de métodos de tratamento como a cloração, variando a depender das condições de transparência e potabilidade necessária para o uso final previsto. Ademais, a água tratada é armazenada em um reservatório inferior, próximo ao equipamento de tratamento e bomba, facilitando futuras manutenções. Ao ser direcionada para um reservatório superior específico para água reutilizada, poderá alimentar pontos de instalação sanitárias, lavagem e irrigação.

3.1.2 Reuso de água (água cinza)

A primeira solução encontrada para esta micro é o “Tratamento de águas cinzas para re-circulação”. As águas captadas por pias de banheiro, chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar, são encaminhadas para um sistema de filtragem, localizado no subsolo. O espaço é previsto de acordo com os mecanismos necessários para o tratamento, armazenamento e re-circulação da água (Figura 6, S1). Um dos projetos, prevê em conjunto com essa solução o armazenamento em cisternas para uso em períodos de estiagem.

A segunda alternativa é um “Sistema de drenagem sustentável”, no qual as águas cinzas captadas passam por um filtro preliminar, que retém resíduos maiores, evitando o entupimento das etapas posteriores (Figura 6, S2). O primeiro estágio de tratamento consiste em um tanque de decantação das partículas poluentes, as quais saem para o solo. O segundo estágio é um tanque de filtração, com camadas de carvão, areia, brita, entre outras matérias, sobrepostas visando um melhor tratamento físico-químico da água. Após passar por esses processos, o sistema flui pelos espaços livres internos e áreas verdes, como um forte aliado para melhoria nas condições de conforto ambiental nos espaços de

uso comum. Contudo, deve ser calculada a capacidade de retenção para liberação das águas com volume e qualidade controladas. É indicado para potencialização da área de maior recarga hídrica, uma cobertura vegetal que contribua com a estabilização da superfície, com vegetação tolerante a maiores concentrações de umidade e matéria orgânica.

3.1.3 Manejo de resíduos (líquidos e sólidos)

A resposta para essa micro em todos os projetos analisados foi o “Acondicionamento e separação dos resíduos sólidos”. É definido um espaço para central de triagem dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), soma dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO) com os Resíduos de Limpeza Urbana (RPU). Dessa forma, não engloba apenas o lixo gerado dentro das unidades habitacionais, como também nos demais espaços do conjunto, destacando a importância das lixeiras de coleta seletiva nos espaços de uso comum (Figura 7).

3.1.4 Materiais com baixa geração de resíduos

A única solução identificada para esta micro foi a “Modulação e materiais eficientes”. A organização do projeto baseado em módulos, ou seja, com unidades de medida ou elementos construtivos repetidos e combinados em diferentes etapas do processo de construção, contribui para um processo com menos desperdício de materiais. O uso de materiais pré-fabricados se alia a essa solução, diminuindo os resíduos no canteiro de obras com formas e quebras de material. Além disso, os materiais não poluentes, com teor de reciclagem ou recicláveis, como as tintas com resina à base de produtos renováveis em vez de combustíveis fósseis, permite uma redução na emissão de dióxido de carbono. Outro fator determinante para a escolha dos materiais visando uma baixa geração de resíduos, é a necessidade de manutenção, pois aqueles que possibilitam uma maior vida útil, podem consequentemente, reduzir a demanda por substituição e descarte (Figura 8).

3.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.2.1 Condicionamento de Ar

A primeira solução identificada para esta micro foi a “Galeria sombreada”: o sistema de vãos exteriores de sacada, dos quartos e salas, somados com elementos de sombreamento para o controle da incidência solar direta, e o uso da vegetação natural temperando os espaços habitáveis, criam galerias frescas, as quais otimizam o condicionamento do ar já potencializado pela ventilação cruzada (Figura 9, S1).

Outra solução encontrada, foram “Pátios internos com vegetação”, por ocorrer o resfriamento do ar pelo processo de evaporação, aumentando a densidade e pressão dentro do pátio sombreado, o que potencializa as correntes de convecção. Dessa forma, torna-se o uso da ventilação natural para resfriamento mais eficiente, a partir das aberturas nas edificações voltadas para os pátios (Figura 9, S2).

O “Ventilador de teto”, contribui para a circulação do ar, podendo reduzir a sensação de abafamento e ajudar na evaporação do excesso de umidade superficial (como em paredes,

tecidos, piso etc.). Apesar de ser uma solução ativa, com gasto de energia, pode estar associado a solução de painéis fotovoltaicos (Figura 9, S3).

Além disso, para casos de clima frio, foi proposto o “Aquecimento do piso por radiação solar”, com amplas janelas que permitem a incidência da radiação solar no piso durante o dia, o qual ao ser aquecido, libera calor para o ambiente interno no período da noite. Para que essa solução seja efetiva, os materiais para o piso devem ser de alta capacidade térmica, assim como, recomenda-se que as janelas sejam de vidro duplo para evitar grandes perdas noturnas. (Figura 9, S4)

Nesse mesmo contexto, na solução “Aquecimento e arrefecimento por piso radiante”, o piso radiante proporciona o aquecimento do ambiente através da emissão de calor por radiação. É instalada uma rede de tubos ou cabos de aquecimento elétrico sob o revestimento do piso, para que o aquecimento do espaço ocorra de maneira uniforme. Semelhantemente, tubulações para circulação de água fria sob o piso permitem o arrefecimento por meio deste. Nesta solução, a energia utilizada é obtida por meio dos painéis solares aplicados na cobertura da unidade habitacional (Figura 9, S5).

Os cinco projetos que passaram na seleção para a micro-categoria “Condicionamento do ar” são de Portugal. Por essa razão, destacam-se estratégias como as de aquecimento, que se distanciam do contexto climático brasileiro.

3.2.2 Aquecimento De Água

A solução em comum em todos os projetos analisados para esta micro é o uso de “Painéis solares térmicos”. É empregado um sistema de aquecimento da água com painéis solares térmicos nas coberturas, bem como um espaço voltado à produção de Água Quente Sanitária (AQS), no qual possa ser instalado os depósitos termo-acumuladores de grande capacidade com Bomba de Calor associada aos coletores, o que garante a água quente em todas as circunstâncias. Ademais, pode-se prever a implementação de um sistema de gestão por cada lote, assessorando no controle de toda central de produção de água quente, além de efetuar o registro de consumos energéticos de cada habitação (Figura 10).

3.2.3 Etiqueta, Certificação ou Selo

A micro-categoria “Etiqueta, Certificação ou Selo”, é composta por apenas 4 projetos que tiveram pontuação máxima. A solução “Levantamento de dados e validação” engloba desde uma série de levantamento de dados do projeto para simulações, até a validação de sua eficiência energética por meio de selos, etiquetas ou certificação (Figura 11). Caso durante o processo projetual seja analisado um baixo potencial de validação, podem ser repensadas as estratégias que estão sendo adotadas para o aproveitamento dos recursos naturais, eficiência energética e conforto ambiental nas habitações.

3.2.4 Geração De Energia

A resposta encontrada para esta micro foi a conversão da luz solar em eletricidade através de “Painéis fotovoltaicos”, constituindo uma solução para geração de energia limpa, renovável e sustentável. Sua utilização para além da instalação das placas nas coberturas dos edifícios, conta com um Inversor, que converte a corrente contínua em corrente

alternada e faz a interface com a rede elétrica (proteções), além de um relógio bidirecional para ser medida a geração e consumo de energia (Figura 12). Por fim, é previsto a utilização da energia gerada pelos painéis tanto nas áreas comuns quanto nas unidades habitacionais, reduzindo os gastos de luz para os futuros moradores.

3.3 SISTEMAS ESTRUTURAIS E MATERIAIS CONSTRUTIVOS

3.3.1 Transmitância (paredes)

O “Isolamento térmico em XPS” é uma solução que utiliza Poliestireno Extrudado (XPS), um tipo de espuma rígida de poliestireno com uma estrutura celular fechada e homogênea, que atua como isolante térmico. Ele pode ser aplicado por placas fixadas diretamente nas paredes externas do edifício, com o uso de argamassa adesiva ou fixadores mecânicos (Figura 13, S1).

Outra solução, são as “Tintas com cores claras”, por apresentarem uma alta reflectância, ou seja, refletem uma grande porcentagem da radiação solar, absorvendo menos calor. Dessa forma, deve-se priorizar tons claros nas paredes externas contribui para reduzir a absorvância do edifício (Figura 13, S2). Além disso, a resposta para essa micro pode vir da “Paleta de revestimentos” como um todo, pois materiais como a madeira apresentam baixa transmitância térmica, reduzindo a transferência de calor e podendo estar associados à pré-fabricação (Figura 13, S3).

3.3.2 Transmitância (cobertura)

Entre as estratégias presentes nos projetos analisados está o “Isolamento térmico em XPS”, o qual ao ser utilizado nas coberturas contribui por ter uma baixa absorção de água e resistência à umidade, além de alta resistência à compressão, suportando cargas significativas sem deformar. Painéis pré-fabricados de telhado podem incorporar XPS em seu núcleo, oferecendo isolamento integrado e rápida instalação da telha sanduiche (Figura 14, S1).

A também a opção de “Cobertura com cores claras ou alumínio”, onde para o telhado ter uma alta refletância solar (albedo), privilegia-se revestimento em cores claras ou telhas metálicas tipo sanduíche (Figura 14, S3). Ademais, nas “Cobertura com vegetação”, a estratégia dos telhados verdes interceptam a radiação solar por uma camada de vegetação, resfriando a superfície da cobertura por evapotranspiração. Para a construção da cobertura com verde, sob o substrato, estão presentes também camadas impermeabilizadoras (Figura 14, S2).

3.3.3 Sistemas Estruturais e Materiais Construtivos

Uma única solução foi encontrada nos 5 projetos analisados para essa micro categoria, a “Pré-fabricação”. A adoção de sistemas estruturais com pré-fabricação possibilita a criação de plantas livres, com menos pilares e maiores vãos, deixando os espaços internos mais flexíveis, livre de elementos estruturantes (Figura 15).

3.3.4 Materiais com Baixo Conteúdo de Carbono

O conteúdo de carbono de um material, é a quantidade de emissão de Gases do Efeito Estufa, principalmente o CO₂, liberados durante seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima e fabricação, até o transporte, uso, manutenção e descarte. Dessa forma, a solução através de “Materiais com baixo conteúdo de Carbono” pode ser aplicada de maneiras diversas: madeira certificada, a qual além de ser renovável sequestra carbono da atmosfera durante o crescimento; aço reciclado, que consome menos energia quando produzido a partir de sucata; tijolos ecológicos, como o solo-cimento, que não necessita da queima em fornos; entre outros materiais tecnológicos, que ajudam a reduzir a pegada de carbono do edifício (Figura 16).

3.4 CONFORTO AMBIENTAL

3.4.1 Ventilação

A solução encontrada foi a “Ventilação Cruzada”, os projetos consideram a diferença de pressão para o movimento do ar, bem como a orientação dos ventos predominantes locais, desde o momento da implantação. Na planta de cada apartamento, é verificado a presença de múltiplas aberturas, em paredes opostas ou adjacentes, garantindo que a ventilação cruzada aconteça (Figura 17).

3.4.2 Presença de elementos para sombreamento

Várias soluções foram identificadas nesta micro, começando com o uso de “Cobogós”, elementos vazados que permitem a passagem de luz e ar, ao mesmo tempo em que oferecem privacidade e sombreamento tanto verticalmente quanto horizontalmente (Figura 18, S1). Por sua vez, as “Varandas” atuam como beiral profundo, ao bloquearem os raios solares mais altos, evitando o superaquecimento dos ambientes internos e protegendo as aberturas da incidência direta do sol (Figura 18, S2).

Os “Brises” funcionam como sombreamento passivo, inseridos na parte externa das fachadas, geralmente na frente de janelas ou paredes envidraçadas, possibilitam uma diversidade de aplicações, entre horizontais ou verticais, fixos ou móveis, e uma gama de materiais (Figura 18, S3). Semelhantemente, os “Estores de alumínio termolacado nas varandas”, são estruturas com lâminas, horizontais ou verticais, podendo ser fixas ou móveis, permitindo controle da entrada de luz e ar. Ao serem feitos de alumínio termolacado, apresentam alta resistência à sol, chuva e corrosão (Figura 18, S4).

Por fim, o “Sombreamento das fachadas com trepadeiras” é uma solução natural para controlar a radiação solar e melhorar o conforto térmico de edificações. Essa técnica, também conhecida como fachada verde ou fachada vegetal, utiliza plantas trepadeiras para cobrir parcialmente ou totalmente superfícies externas do edifício. A vegetação absorve e transforma parte da radiação solar, além de criar uma camada de ar entre a parede e a planta, funcionando como isolante, contribui na manutenção de uma temperatura estável (Figura 18, S5).

3.4.3 Iluminação Natural

A solução apresentada em todos os projetos para esta micro-categoria é a presença de uma abertura externa em todos os ambientes da habitação, evitando assim a dependência apenas de iluminação artificial ou luz indireta de outros cômodos (Figura 19).

3.4.4 Acústica

Três soluções foram identificadas para a micro-categoria “Acústica”. A primeira tem como enfoque o sistema de isolamento da fachada, com o reboco somado a uma rede de fibra de vidro (Figura 20, S1). A segunda, a utilização de janelas com vidro duplo, o qual contribui para a redução de ruídos provenientes do exterior (Figura 20, S2). Ainda quanto às aberturas, a terceira solução é pensada para as portas, escolhidas para garantir a vedação total de luz e o isolamento termo-acústico (Figura 20, S3).

3.5 Os projetos selecionados do Brasil e de Portugal

As soluções encontradas, entre projetos de Habitação de Interesse Social do Brasil e de Portugal, não representam igualmente estratégias empregadas em ambos os países. Esse fato é decorrente da metodologia utilizada para a seleção dos projetos, baseada na escala de numeração da matriz avaliativa. Pois a filtragem prioriza os projetos com maiores pontuações, tendo como objetivo a identificação das soluções em projetos anteriormente analisados com melhor desempenho quanto a Adequação e Conforto Ambiental.

Entretanto, entre os cinco projetos selecionados para cada micro-categoria, verificou-se uma predominância de projetos em Portugal (Gráfico 01). Uma das razões para essa desigualdade é a influência da própria base de dados, constituída por 30 concursos (90 projetos) de Portugal e 8 concursos (24 projetos) do Brasil.

Nesta etapa da pesquisa, a análise dos resultados é afetada intrinsecamente pela alta desigualdade na porcentagem de projetos do Brasil e de Portugal. Fato esse agravado na meso-categoria de Conforto Ambiental, em que na matriz avaliativa, nenhum dos projetos com a pontuação máxima (8 para meso-categorias) é brasileiro. Dessa forma, os 20 projetos selecionados para análise nas quatro micro-categorias que compõem a meso-categoria Conforto Ambiental, são de concursos de Portugal. Logo, as soluções identificadas dialogam com contextos social e climático portugueses, mas podem existir ressalvas quanto à adequação da aplicação para o Brasil.

Conclusão

O artigo revelou uma diversidade de soluções referente à resiliência, mais especificamente, quanto à “Adequação e Conforto Ambiental” empregadas em Habitações de Interesse Social. Contudo, enquanto em categorias como “Condicionamento do ar” e “Presença de elementos para sombreamento” a análise dos 5 projetos permitiu identificar 5 respostas distintas, algumas categorias se resumiram a uma única estratégia. Essa limitação pode estar relacionada a questões tecnológicas e econômicas que permeiam o desenvolvimento de HIS.

A metodologia adotada permitiu a identificação de soluções e o desenvolvimento de uma representação para a mesma, possibilitando uma melhor compreensão da estratégia. Além disso, a representação com destaque para as principais partes que compõe a solução oferece, no caso das micro-categorias com mais de uma solução, um comparativo preliminar rápido e fácil entre as possibilidades de respostas apresentadas.

Acerca da disparidade de soluções provenientes de projetos de Portugal, é indicado para a próxima etapa da pesquisa um novo olhar para as estratégias empregadas nos projetos brasileiros. Desde já, há uma clara limitação para algumas micro-categorias, como em “Acústica”, onde nenhum dos projetos com pontuação máxima (2) é do Brasil. A ausência de estratégias nesta micro-categoria, pode estar interligada a fatores econômicos e culturais do modo de projetar e construir Habitações de Interesse Social no país, mas não deve ser lida como uma falta de potencial para adoção de novas soluções de Conforto Ambiental.

A pesquisa poderá explorar posteriormente, a divulgação das estratégias potenciais identificadas para além da comunidade acadêmica. Seja a partir de um livro, com todas as soluções compiladas, incorporando um formato semelhante a um manual com enfoque no projetar para HIS mais resilientes. Ou visando um maior alcance pela internet, disponibilizar o conteúdo gratuitamente em um website ou aplicativo mobile.

Por fim, esta terceira etapa da pesquisa “A resiliência na Arquitetura: análise de projetos arquitetônicos de habitações de interesse social”, possibilitou o desenvolvimento de um repertório de conhecimentos arquitetônicos associados à resiliência em HIS nos contextos brasileiros e portugueses. Seguindo com o propósito de contribuir por meio da arquitetura para o desenvolvimento sustentável no planeta, a promoção de cuidados com a saúde, bem-estar físico e mental da população, além de tecnologias resilientes às novas dinâmicas climáticas e sociais.

Referências

BORTOLI, Karen Carrer Ruman; VILLA, Simone Barbosa. Conforto ambiental como atributo para a resiliência em habitações de interesse social brasileiras. REVISTA PROJETAR, Natal, set. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/20077/13252>. Acesso em 9 Jul. 2025.

DREXLER, Hans; KHOULI, Sebastian. Holistic Housing: Concepts, Design Strategies and Processess, 1st ed. Munich: Edition Detail, 2012.

F. V. M. Parreira e S. B. Villa, “Resiliência na Habitação Social: avaliação dos impactos relacionados a sua (in)flexibilidade”, em Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Brasília: ENANPARQ, 2020.

ONU. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em 16 Jul. 2025.

ROSA, L. M.; LÔBO, H. P.; SILVA, H. de A. Tectônica do BIG: um exercício de análise da Serpentine Gallery, In: Arquiteturas Contemporâneas. PAIVA, R. A.; VALENÇA, M. M. (Orgs.). EDUFRN, 2022.

SILVA, Heitor de Andrade Silva; FARIAS, Hugo José Abranches Teixeira Lopes; RODRIGUES, Clara Ovídio de Medeiros. A resiliência em projetos habitacionais em concursos de Arquitetura: Uma ferramenta para estudos de caso em Portugal e no Brasil (2013-2023). 5.º Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono, Lisboa 2024.

SILVA, et al. Método de avaliação da resiliência na Arquitetura: aplicação em projetos de concursos de HIS no Brasil e em Portugal. 12 PROJETAR, Pelotas, 14 a 17 de dez., 2025.

SOBREIRA, FABIANO; SCHULZ, MARIA. Projetos de habitação social no brasil: potencialidades analíticas. 10 PROJETAR, Lisboa, 16 a 19 de nov., 2021. Disponível em: https://fabianosobreira.files.wordpress.com/2021/11/projetar-21_sobreira_schulz.pdf. Acesso em 9 Jul. 2025.

Anexos



Figura 1 – Manejo da água e de resíduos. Fonte: Silva et al. (2025)



Figura 2 – Eficiência energética. Fonte: Silva et al. (2025)



Figura 3 – Sistema estrutural e materiais construtivos. Fonte: Silva et al. (2025)



Figura 4 – Conforto ambiental. Fonte: Silva et al. (2025)



Figura 5 – Solução “Captação de água da chuva”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 6 – Soluções “Reuso de água”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 7 – Solução “Manejo de resíduos”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 8 – Solução “Materiais com baixa geração de resíduos”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 9 – Solução “Condicionamento do ar”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 10 – Solução “Aquecimento de água”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 11 – Solução “Etiqueta, certificação ou selo”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 12 – Solução “Geração de Energia”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 13 – Solução “Transmitância (paredes)”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 14 – Solução “Transmitância (cobertura)”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 15 – Solução “Sistemas Estruturais e Materiais Construtivos”. Fonte:
Desenvolvido pela autora.



Figura 16 – Solução “Materiais com Baixo Conteúdo de Carbono”. Fonte:
Desenvolvido pela autora.



Figura 17 – Solução “Ventilação”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 18 – Solução “Presença de elementos para sombreamento”. Fonte: Desenvolvido
pela autora.



Figura 19 – Solução “Iluminação natural”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Figura 20 – Solução “Acústica”. Fonte: Desenvolvido pela autora.



Gráfico 1 – Os projetos selecionados do Brasil e de Portugal. Fonte: Desenvolvido pela autora.

CÓDIGO: HS1076

AUTOR: SAMARA THAIS NASCIMENTO DE SOUSA

ORIENTADOR: CLARA OVÍDIO DE MEDEIROS RODRIGUES

TÍTULO: A resiliência na Arquitetura: sistematização e análise de dados referentes aos projetos arquitetônicos de habitações de interesse social no Brasil e em Portugal

Resumo

Este estudo investiga como a flexibilidade é incorporada em projetos de habitações de interesse social (HIS) no Brasil e em Portugal, a partir da análise de 120 propostas de concursos arquitetônicos. Utilizando uma matriz multicritério, foram selecionados os projetos mais bem avaliados, permitindo identificar soluções organizadas em quatro microcategorias: espaços comuns, tipologias e usos, forma e capacidade adaptativa. Os resultados destacam estratégias como diversidade de layouts, usos mistos, espaços compartilhados e soluções modulares, evidenciando que a flexibilidade contribui diretamente para a resiliência habitacional ao permitir maior capacidade de adaptação dos espaços. Conclui-se que tais soluções favorecem a qualidade de vida e a sustentabilidade, alinhando-se aos ODS 3, 9 e 11, além de apontar caminhos para futuras pesquisas sobre arquitetura adaptativa.

Palavras-chave: Habitação social; Flexibilidade projetual; Resiliência.

TITLE: Resilience in Architecture: systematization and analysis of data related to architectural projects for social housing in Brazil and Portugal

Abstract

This study investigates how flexibility is incorporated into social housing (SHS) projects in Brazil and Portugal, based on the analysis of 120 architectural competition proposals. Using a multi-criteria matrix, the highest-rated projects were selected, allowing for the identification of solutions organized into four microcategories: common spaces, typologies and uses, form, and adaptive capacity. The results highlight strategies such as diverse layouts, mixed uses, shared spaces, and modular solutions, demonstrating that flexibility directly contributes to housing resilience by enabling greater adaptability. The conclusion is that such solutions promote quality of life and sustainability,

aligning with SDGs 3, 9, and 11, and point to avenues for future research on adaptive architecture.

Keywords: Social housing; Design flexibility; Resilience.

Introdução

1. INTRODUÇÃO

As transformações sociais, econômicas e ambientais das últimas décadas têm ampliado o debate sobre a resiliência no ambiente construído, sobretudo no contexto das habitações de interesse social (HIS). Mais do que resistir a impactos, a arquitetura contemporânea busca soluções que possibilitem a adaptação dos espaços diante das mudanças nas condições de uso, nas necessidades dos moradores e nas pressões ambientais. Como apontam Bortoli e Villa (2020), a resiliência no ambiente construído corresponde à “capacidade do ambiente construído em resistir e se adaptar para lidar com mudanças/impactos de diferentes ordens impostos ao longo do tempo”.

Nesse cenário, a pesquisa, iniciada em 2023, investiga como os projetos arquitetônicos de HIS incorporam estratégias de flexibilidade e conforto ambiental para favorecer a qualidade de vida dos usuários. O estudo foi desenvolvido em três etapas complementares. A primeira consistiu na catalogação de 120 projetos de concursos arquitetônicos realizados no Brasil e em Portugal, permitindo uma análise comparativa das soluções apresentadas (Figura 1). Na segunda etapa, os dados foram sistematizados por meio de gráficos e tabelas avaliativas, evidenciando as estratégias com melhor desempenho. Por fim, a terceira fase — foco do presente artigo — dedica-se à análise aprofundada dessas soluções e à sua descrição por meio de diagramas, facilitando a compreensão das estratégias projetuais.

A abordagem adotada considera duas perspectivas centrais: adequação e conforto ambiental e flexibilidade. O artigo apresenta os resultados de uma fase avançada do estudo, na qual foram sistematizadas soluções identificadas em projetos arquitetônicos de concursos, com foco na flexibilidade. Os dados foram organizados em microcategorias que abordam desde o uso dos espaços comuns até a capacidade adaptativa das edificações, sendo os resultados apresentados por meio de representações gráficas que destacam as estratégias projetuais mais eficazes para a adaptabilidade e funcionalidade das habitações de interesse social.

A flexibilidade está diretamente ligada à capacidade de adaptação mediante as mudanças constantes no tempo. Como aborda Silva, et al (2025), “A flexibilidade aborda questões como obsolescência de edificações, dinâmica social, satisfação e adequação do usuário, transformação tecnológica e questões econômicas e ambientais. Em essência, está ligada à capacidade do espaço de se adaptar ao longo do tempo”. Esse princípio reafirma como a flexibilidade é um requisito fundamental, por unir sustentabilidade e eficiência.

A relevância desse ponto de vista relaciona-se à compatibilidade com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, especialmente o ODS 3,

ODS 9 e ODS 11, uma vez que a flexibilidade nas habitações de interesse social favorece a qualidade de vida por meio de espaços mais resilientes e adaptáveis.

O artigo está estruturado em cinco seções principais. A Metodologia descreve a abordagem adotada, a seleção dos projetos e os critérios de análise utilizados. Em seguida, a seção Soluções apresenta as estratégias projetuais identificadas, organizadas em microcategorias relacionadas à flexibilidade e à adaptabilidade dos espaços. A seção de Discussões compara os resultados obtidos, evidenciando convergências e diferenças entre os projetos analisados no Brasil e em Portugal. Por fim, a Conclusão sintetiza os principais achados da pesquisa e aponta caminhos para futuros estudos sobre a resiliência e a flexibilidade nas habitações de interesse social.

Metodologia

2. METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, com foco na compreensão e interpretação das soluções projetuais para habitações de interesse social (HIS) sob a perspectiva da flexibilidade. Para isso, foi utilizado o modelo de matriz multicritério proposto por Drexler e Khouli (2012), que permite avaliar diversos aspectos dos projetos a partir de uma escala de 1 a 5. Essa matriz foi aplicada em uma etapa preliminar com o objetivo de selecionar os projetos mais bem avaliados e, a partir deles, identificar as soluções arquitetônicas mais relevantes para compor o recorte investigado nesta fase do estudo (SILVA; FARIAS; RODRIGUES, 2024).

O universo inicial da pesquisa foi composto por 120 projetos provenientes de concursos arquitetônicos realizados no Brasil e em Portugal, permitindo uma análise comparativa entre diferentes contextos socioculturais e construtivos. A aplicação da matriz multicritério possibilitou não apenas a avaliação individual dos projetos, mas também a organização sistemática das soluções arquitetônicas em diferentes níveis analíticos.

2.1 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE E ESCALA NUMÉRICA

Para a análise detalhada das soluções projetuais relacionadas à flexibilidade, foi desenvolvida uma etapa complementar de classificação, utilizando uma escala numérica de 0 a 2. Essa escala foi aplicada exclusivamente aos projetos previamente selecionados a partir das maiores pontuações obtidas na matriz multicritério.

0 – Ausência de soluções relacionadas à flexibilidade;

1 – Soluções parciais, com baixa complexidade ou aplicabilidade restrita;

2 – Soluções completas, originais e de maior detalhamento, com potencial para diferentes usos e adaptações.

A atribuição das notas foi realizada por dois pesquisadores de forma independente. Em casos de divergência, os critérios foram discutidos até se chegar a um consenso, garantindo maior confiabilidade e consistência metodológica. A partir dessa etapa, os projetos mais bem avaliados foram analisados individualmente e tiveram suas soluções representadas por meio de diagramas comparativos, visando facilitar a compreensão e permitir uma leitura crítica dos resultados obtidos.

2.2 ORGANIZAÇÃO DAS MESOCATEGORIAS

As soluções identificadas foram agrupadas em quatro mesocategorias principais, elaboradas para sintetizar os diferentes aspectos relacionados à flexibilidade das HIS. Cada mesocategoria foi acompanhada de representações gráficas para ilustrar os elementos-chave:

Espaços Comuns(Figura 2) – abrange elementos como circulação comunitária, espaços compartilhados, áreas livres e a interação entre os usuários, destacando como esses fatores impactam a vivência coletiva e a qualidade ambiental dos projetos.

Tipologias e Usos(Figura 3) – contempla a diversidade de tipologias habitacionais, a variedade de usos dos ambientes, os diferentes tamanhos das unidades e a capacidade de reconfiguração dos pavimentos, promovendo a inclusão de perfis variados de moradores.

Forma(Figura 4) – analisa a possibilidade de diferentes layouts internos, a integração e divisão de espaços, a posição dos pontos hidráulicos e a criação de áreas de transição, oferecendo maior liberdade de configuração dos ambientes.

Capacidade Adaptativa(Figura 5) – considera soluções que possibilitam mudanças sem alterações construtivas significativas, com intervenções mínimas, acomodação de múltiplas funções e adaptação ao longo do tempo.

2.3 SELEÇÃO DOS PROJETOS E SÍNTESE DOS DADOS

A partir da matriz multicritério, foram selecionados os cinco projetos mais bem pontuados em cada microcategoria, resultando em um conjunto final de casos para análise aprofundada. Nos casos em que mais de cinco projetos apresentaram pontuação máxima, foram aplicados critérios sucessivos de desempate:

Verificação da pontuação total da mesocategoria;

Avaliação da nota da macrocategoria correspondente;

Persistindo o empate, análise qualitativa do grau de detalhamento e da originalidade da estratégia adotada.

Após a definição do recorte, as soluções foram sistematizadas em diagramas representativos que sintetizam os padrões projetuais e permitem uma comparação direta entre as abordagens adotadas nos contextos brasileiro e português.

Resultados e Discussões

3. SOLUÇÕES PROJETUAIS IDENTIFICADAS

A análise dos projetos selecionados permitiu identificar um conjunto de soluções projetuais voltadas à promoção da flexibilidade e da resiliência em habitações de interesse social (HIS). Os resultados foram organizados em quatro mesocategorias — espaços comuns, tipologias e usos, forma e capacidade adaptativa —, possibilitando compreender como diferentes estratégias contribuem para atender às mudanças nas demandas dos usuários e aos desafios contemporâneos da habitação social.

3.1 ESPAÇOS COMUNS

3.1.1 Microcategoria – Circulação Comunitária

Entre as soluções identificadas, destaca-se a adesão de corredores de circulação e escadarias abertas como elementos de acesso às unidades habitacionais. Essa escolha contribui para potencializar a ventilação cruzada e a iluminação natural dos caminhos, ao mesmo tempo que favorece o encontro entre os habitantes e o favorecimento de vínculos sociais.

Outra estratégia relevante é a incorporação de varandas de uso comum ao longo dos corredores de circulação. Esses ambientes funcionam não apenas como áreas de circulação, mas também como ambientes de convivência e descanso, ampliando as oportunidades de interação e proporcionando maior qualidade ambiental às habitações (Figura 6).

3.1.2 Microcategoria – Espaços Compartilhados

A primeira solução identificada foi a adoção do terraço, tradicionalmente uma área subutilizada, que passou a ser concebida como ambiente de convivência. Esse espaço elevado pode abrigar atividades de lazer e reuniões comunitárias, melhorando a qualidade de vida dos habitantes e estimulando o uso coletivo da habitação (Figura 7).

A segunda alternativa consiste na implantação de uma cozinha comunitária, localizada de forma independente das habitações. Esse espaço favorece encontros, eventos e o preparo de refeições coletivas, estimulando a assistência e apoio entre os moradores. Ao estar fisicamente separada das unidades habitacionais, a cozinha comunitária apresenta uso mais flexível, podendo também abrigar funções culturais ou educativas sem interferir na rotina cotidiana dos residentes (Figura 8).

A terceira solução envolve a inserção de pátios internos nos edifícios, que funcionam como pontos de encontro, áreas de descanso e espaços de convívio. Esses ambientes

reforçam o caráter comunitário da proposta, tornando o interior dos edifícios mais acolhedor e apropriado à rotina coletiva (Figura 9).

3.1.3 Microcategoria – Áreas Livres

As soluções propostas nesta microcategoria apresentam diferentes abordagens projetuais, mas compartilham o mesmo objetivo central: oferecer espaços de lazer e convivência que sejam acessíveis, atrativos e integradores para todos os públicos que compõem o conjunto habitacional.

Entre as estratégias destacam-se:

Implantação de quadras esportivas, campos de futebol e pistas de skate — equipamentos que atendem a diferentes faixas etárias e interesses, incentivando práticas esportivas e o uso ativo do espaço urbano.

Criação de playgrounds voltados ao público infantil, priorizando segurança e diversão.

Instalação de um mirante, destinado ao descanso e à contemplação da paisagem, favorecendo a apropriação simbólica e visual do território pelos moradores.

Inclusão de bosques, jardins de chuva e áreas com vegetação diversificada, que desempenham funções ecológicas relevantes, como controle térmico e manutenção da biodiversidade local.

Criação de hortas comunitárias, promovendo práticas de alimentação saudável e fortalecimento dos vínculos comunitários.

Implantação de um restaurante comunitário, concebido como estrutura de apoio social e espaço de convivência coletiva.

Construção de praças públicas, garantindo espaços abertos e multifuncionais que podem ser utilizados tanto para lazer quanto para atividades culturais e eventos comunitários (Figura 10).

3.1.4 Microcategoria – Interação com o Espaço Público

A solução proposta nesta microcategoria envolve a implantação de equipamentos públicos, como escolas e unidades básicas de saúde (UBS) (Figura 11). Além de estabelecimentos comerciais (restaurantes, lojas e outros serviços) no térreo dos edifícios (Figura 12). Essa estratégia favorece a convivência e a apropriação do espaço pela comunidade local, ao mesmo tempo em que fortalece a vitalidade urbana do entorno.

A presença de usos diversificados contribui para:

dinamizar as atividades ao longo do dia;

aumentar a sensação de segurança pela maior circulação de pessoas;

criar oportunidades de interação entre diferentes grupos de moradores e visitantes.

Dessa forma, o projeto promove um ambiente inclusivo, dinâmico e funcional, integrando o complexo habitacional ao contexto urbano em que está inserido.

3.2 TIPOLOGIAS E USOS

3.2.1 Microcategoria — Variedade de Tipologias

A proposta contempla habitações com a mesma quantidade de quartos, distribuídas entre apartamentos de um único pavimento e em unidades duplex. Nos apartamentos, os ambientes são organizados, no mesmo pavimento, enfatizando a acessibilidade e a concentração espacial. Já nos duplex, os ambientes são divididos verticalmente, separando as áreas sociais e íntimas em diferentes níveis, o que favorece a privacidade e a segmentação dos usos (Figura 13).

3.2.2 Microcategoria – Variedade de Usos

Adotou-se nas habitações a estratégia de uso misto, prevendo o pavimento térreo dos edifícios para múltiplas funções, como salas comerciais, de reunião, eventos culturais, projetos sociais. Essa solução busca implantar diferentes atividades, tornando esses espaços mais dinâmicos, e funcionais ao longo do dia (Figura 14).

3.2.3 Microcategoria – Variedade de Tamanhos

A abordagem projetual baseia-se na diversidade de formatos e dimensões das unidades habitacionais, visando atender a diferentes perfis de habitantes, composições familiares e faixas etárias. Essa estratégia rompe com a necessidade de padrões, oferecendo soluções mais inclusivas e adaptáveis às dinâmicas contemporâneas de habitar (Figura 15).

3.2.4 Microcategoria – Capacidade de Alteração do Pavimento-tipo

A utilização de casas modulares amplia as possibilidades de mudança e a flexibilidade dos pavimentos, permitindo que as unidades habitacionais sejam adaptadas às mudanças nas necessidades dos habitantes. Essa abordagem favorece a ampliação e a reorganização dos espaços externos e internos, oferecendo maior autonomia para ajustes ao longo do tempo (Figura 16).

3.3 FORMA

3.3.1 Microcategoria — Possibilidades de Diferentes Layouts

A primeira solução utiliza de diferentes disposições para o mesmo tipo de mobiliário, permitindo que os ambientes se adequem às diferentes formas de habitar, às especificidades de cada habitante e às mudanças gradativas do cotidiano (Figura 17).

A segunda proposta explora diferentes combinações de mobiliários, aumentando a capacidade de modificação dos ambientes sem a necessidade de alterações construtivas (Figura 18).

Por fim, a terceira solução contempla layouts específicos para pessoas com mobilidade reduzida e limitações físicas. Essas configurações incluem áreas de circulação ampla, livre de obstáculos, superfícies planas e sem desníveis e mobiliário com ergonomia inclusiva (Figura 19).

3.3.2 Microcategoria — Possibilidade de Divisões/Integrações

Uma das estratégias projetuais propostas é a integração entre sala e cozinha, criando ambientes mais amplos, fluidos e multifuncionais. Essa configuração melhora a ventilação, iluminação, favorece a convivência familiar e proporciona a sensação de amplitude, especialmente em espaços com dimensões reduzidas (Figura 20).

Outra solução envolve o uso de paredes removíveis, que permitem reconfigurar os espaços conforme a necessidade. Essas divisórias podem ser usadas abertas, integrando os ambientes ou fechadas, garantindo a privacidade quando desejado (Figura 21).

3.3.3 Microcategoria — Alterações a Partir da Localização dos Pontos Hidráulicos

A organização da cozinha e banheiro na mesma parede estrutural, assim concentrando os pontos hidráulicos, otimizando a tubulação, facilitando manutenções e ampliando as possibilidades de reorganização dos ambientes internos (Figura 22).

Outra alternativa consiste na localização de banheiros e cozinhas nas extremidades da planta, liberando as paredes do centro do ambiente para usos mais flexíveis. Essa solução permite a criação de espaços integrados e multifuncionais, ao mesmo tempo em que mantém os serviços e usos indispensáveis concentrados nas bordas do layout (Figura 23).

3.3.4 Microcategoria — Espaços de Transição

A inserção de varandas privadas é uma estratégia que cria espaços de transição nas habitações, possibilitando ao morador manter contato com o exterior sem sair do ambiente doméstico. Podendo ser usados para atividades como leitura, cultivo de plantas ou descanso, preservando a intimidade do lar.

Além disso, a proposta contempla varandas comunitárias, que funcionam como corredores de circulação e promove a integração entre moradores, fortalecendo o convívio coletivo e a conexão com o meio externo (Figura 24).

3.4 CAPACIDADE ADAPTATIVA

3.4.1 Microcategoria — Adaptação sem Alterações Construtivas

A adesão de paredes móveis caracteriza uma estratégia projetual que prioriza a flexibilidade espacial às diferentes necessidades dos habitantes. Essa abordagem

possibilita múltiplas configurações do espaço sem a necessidade de reformas permanentes.

O uso de módulos, oferece maior liberdade para reorganizar os ambientes de acordo com as especificidades, permitindo que o espaço acompanhe as transformações das demandas cotidianas (Figura 25).

3.4.2 Microcategoria — Adaptações com Poucas Intervenções Construtivas

Esta microcategoria destaca o uso de portas e janelas modulares como estratégia projetual. Os elementos são concebidos para serem instalados nas paredes fixas, sem a necessidade de processos construtivos.

A modularidade confere eficiência e versatilidade, permitindo ao usuário ajustar a configuração das aberturas conforme suas necessidades — seja para melhorar a ventilação, a iluminação natural ou alterar a relação entre os espaços externos e internos. Essa abordagem também agiliza a montagem e substituição dos elementos, reduzindo custos e otimizando o tempo de execução (Figura 26).

3.4.3 Microcategoria — Capacidade de Acomodar Várias Funções e Atividades

A utilização de divisórias móveis amplia a flexibilidade dos espaços, permitindo que um mesmo espaço seja configurado para diferentes usos.

Por exemplo, um ambiente pode funcionar como um escritório privado durante o expediente e, rapidamente, ser transformado em sala de estar ou dormitório, adaptando-se a diferentes contextos e demandas cotidianas. (Figura 27).

3.4.4 Microcategoria — Capacidade de Adaptação a Diferentes Ocupantes

A proposta baseia-se na criação de espaços flexíveis, nos quais a adaptação espacial é viabilizada pelo uso de divisórias móveis e pela integração dos ambientes. Essa estratégia permite configurar as áreas de acordo com as necessidades específicas de cada morador, atendendo tanto famílias maiores, que demandam espaços amplos, quanto famílias menores, que demonstram preferência por ambientes mais reservados.

A fluidez entre os ambientes favorece o conforto e a acessibilidade, beneficiando, sobretudo, pessoas com mobilidade reduzida ou deficientes, já que a circulação livre e a possibilidade de reorganizar o espaço promovem autonomia e inclusão (Figura 28).

4. DISCUSSÕES E ANÁLISES COMPARATIVAS

A pesquisa busca mostrar as soluções projetuais encontradas para cada tópico referente a flexibilidade e resiliência em habitações de interesse social (HIS). Ao analisar essas estratégias, notou-se semelhanças entre os projetos desenvolvidos no Brasil e em Portugal. Onde ambos tiveram soluções parecidas e por vezes, iguais em diversos casos, como o uso de paredes móveis, a adoção de layouts flexíveis, o uso misto nas habitações e a implantação de diferentes tipologias, soluções essas que tornam os projetos mais atemporais e adaptáveis há transformações.

Em contrapartida, é perceptível as diferentes soluções encontradas para microcategorias como interação com o espaço público, onde foi observado que nos projetos do Brasil é comum a implantação de Unidades Básicas de Saúde (UBS) e escolas, enquanto em Portugal não foi encontrado nenhum tipo de solução.

Entre as estratégias projetuais mais eficazes evidencia-se o uso de layouts adaptáveis, que facilitam a adequação de diferentes dinâmicas familiar e também a limitações que possa vir a existir naquele ambiente, as paredes móveis, pois permite a integração dos espaços, adaptando-se a diferentes núcleos familiares e as necessidades que virão a existir. Outra solução importante, é a de tipologias adaptáveis onde é possível integrar diferentes tamanhos, que acompanham a necessidades existentes, além de poder ser para além de habitação, também uma fonte de renda ou um espaço integrativo, onde há o uso misto.

Conclusão

5. CONCLUSÃO

Este estudo buscou compreender como a flexibilidade é incorporada em projetos de habitações de interesse social, com base na análise de soluções projetuais sistematizadas em quatro microcategorias. A análise, de modo geral, mostrou diversas estratégias em algumas microcategorias, como a variação de soluções para o problema de espaços livres, com a implantação de praças, playgrounds, quadras e como as habitações vão para além de apenas habitar, como estratégias de uso misto no edifício, fomentando o comércio e a integralização.

Outras soluções já se resumiram há uma única estratégia, como por exemplo os diagramas que foram representados por paredes modulares, essa solução foi utilizada em diversas micro categorias, como integração ou divisão de espaços, portas e janelas modulares e o uso de espaços sem intervenções construtivas.

Os resultados apontaram que soluções voltadas à diversificação de usos, criação de espaços compartilhados e possibilidade de diferentes layouts contribuem de forma significativa para a adaptabilidade das habitações.

A pesquisa reforça a relação entre flexibilidade, qualidade de vida e sustentabilidade, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente os ODS 3, 9 e 11, onde se alinham, mostrando a importância de espaços mais sustentáveis, inovadores e saudáveis. O ODS 3, que preza pela saúde e bem estar, reforça a necessidade de viver bem e o espaço onde se habita reflete o bem estar, viver em ambientes que se adequam às necessidades do usuário, que trazem sentimento de lar. O ODS 9, que aborda sobre indústria, inovação e infraestrutura, destaca a importância de ter soluções projetuais inovadores, onde essas estratégias sirvam para o presente, mas que continuem atuais para o futuro. Por fim, o ODS 11, que pontua a cidade e comunidades sustentáveis, incentiva que as cidades devem ser resilientes e inclusivas

para permitir que a cidade acompanhe as transformações do meio urbano e dos usuários que dela usufruem.

Como limitação, destaca-se o recorte específico dos projetos analisados, sugerindo que pesquisas futuras ampliem a amostra e explorem a aplicação das soluções em diferentes contextos. Como já foi pontuado, foram encontradas muitas soluções iguais ao analisar os projetos, e o filtro utilizado para a escolha desse projeto pode ter limitado o encontro de outras estratégias que diversifiquem os diagramas.

Referências

BORTOLI, Karen Carrer Ruman; VILLA, Simone Barbosa. Conforto ambiental como atributo para a resiliência em habitações de interesse social brasileiras. *Revista Projetar*, Natal, v. 5, n. 3, set. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/20077/13252>. Acesso em: 18 ago. 2025.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Objetivos de desenvolvimento sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20 ago. 2025

SILVA, Heitor de Andrade; FARIAS, Hugo José Abranches Teixeira Lopes; RODRIGUES, Clara Ovídio de Medeiros. A resiliência em projetos habitacionais em concursos de arquitetura: uma ferramenta para estudos de caso em Portugal e no Brasil (2013-2023). In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA HABITAÇÃO NO ESPAÇO LUSÓFONO, 5., 2024, Lisboa. Anais... Lisboa: [s.n.], 2024.

Anexos



Figura 1 – 120 projetos catalogação por mesocategoria. Fonte: Silva et al. (2025).



Figura 2 – Espaços comuns. Fonte: Silva et al. (2025).



Figura 3 – Tipologias e usos. Fonte: Silva et al. (2025).



Figura 4 – Forma (unidade habitacional). Fonte: Silva et al. (2025).



Figura 5 – Capacidade adaptativa. Fonte: Silva et al. (2025).



Figura 6 – Circulação comunitária. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 7 – Solução 1 Espaços compartilhados - terraço. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 8 – Solução 2 Espaços compartilhados - cozinha comunitária. Fonte:
Desenvolvido pelo autor



Figura 9 – Solução 3 Espaços compartilhados - pátios internos. Fonte: Desenvolvido
pelo autor



Figura 10 – Áreas livres. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 11 – Solução 1 Interação com o espaço público - uso misto. Fonte: Desenvolvido
pelo autor



Figura 12 – Solução 2 Interação com o espaço público - UBS e escolas. Fonte: Desenvolvido pelo autor.



Figura 13 – Variedade de tipologias. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 14 – Variedade de usos. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 15 – Variedade de tamanhos. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 16 – Capacidade de alteração do pavimento tipo. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 17 – Solução 1 Possibilidades de diferentes layouts com o mesmo mobiliário.
Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 18 – Solução 2 Possibilidades de diferentes layouts com mobiliário diferente.
Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 19 – Solução 3 Possibilidades de diferentes layouts - Acessibilidade. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 20 – Solução 1 Possibilidades de divisões/integrações - Sala e cozinha integrada.
Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 21 – Solução 2 Possibilidades de divisões/integrações - Paredes móveis. Fonte:
Desenvolvido pelo autor



Figura 22 – Solução 1 Possibilidade de alterações a partir da situação espacial dos
pontos hidráulicos. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 23 – Solução 2 Possibilidade de alterações a partir da situação espacial dos
pontos hidráulicos. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 24 – Espaços de transição. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 25 – Adaptação sem alterações construtivas. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 26 – Adaptação com poucas intervenções construtivas. Fonte: Desenvolvido pelo
autor



Figura 27 – Capacidade de acomodar várias funções e atividades. Fonte: Desenvolvido pelo autor



Figura 28 – Capacidade dos espaços se adaptarem a diferentes ocupantes. Fonte: Desenvolvido pelo autor

CÓDIGO: HS1168

AUTOR: EMILY LOUISE ACIOLE MEDEIROS

ORIENTADOR: BIANCA CARLA DANTAS DE ARAUJO

TÍTULO: MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES DOS RUÍDOS DE AEROGERADORES NA REGIÃO DO SERIDO/RN

Resumo

O presente trabalho analisa os impactos da instalação de empreendimentos eólicos em comunidades tradicionais, em especial, na comunidade quilombola de Macambira, localizada na Serra de Santana, Rio Grande do Norte. A pesquisa utilizou medições acústicas realizadas conforme a norma ABNT NBR 10151 (2019), complementadas por simulações computacionais e observações em campo, considerando fatores ambientais e físicos locais. Os resultados mostraram que o ruído produzido pelas turbinas compromete o conforto acústico da comunidade, especialmente durante a noite, afetando a qualidade do sono e o bem-estar dos moradores. Além do desconforto sonoro, identificaram-se outros problemas, prejuízos à agricultura e ao território, o que amplia a vulnerabilidade local. O estudo demonstra que tais empreendimentos impactam não apenas o ambiente físico, mas também a organização da comunidade, reforçando a necessidade de compatibilizar a transição energética com o impacto sócio-cultural.

Palavras-chave: Energia eólica; Conforto ambiental; Comunidades tradicionais; Macambira.

TITLE: Measurements and Simulations of Wind Turbine Noise in the Seridó/RN Region

Abstract

This paper examines the impacts of wind farm installations on traditional communities, with a focus on the quilombola community of Macambira, located in the Serra de Santana, Rio Grande do Norte, Brazil. The research involved acoustic measurements conducted in accordance with the ABNT NBR 10151 (2019) standard, complemented by computational simulations and field observations that considered local physical and environmental factors. The findings indicate that turbine noise compromises the community's acoustic comfort, particularly at night, negatively affecting residents' sleep quality and overall well-being. Beyond noise-related discomfort, additional impacts were identified, including agricultural losses and pressures on traditional

territorial practices, which further increase local vulnerability. The study demonstrates that such developments affect not only the physical environment but also the social organization of the community, reinforcing the urgent need to reconcile energy transition strategies with socio-cultural impacts.

Keywords: Wind energy; Environmental comfort; Traditional communities; Macambira.

Introdução

O Brasil vem se destacando no cenário internacional como um dos principais produtores de energias renováveis, consolidando-se entre os países líderes na geração de energia eólica. De acordo com dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEE), o país se destaca entre os dez maiores produtores desse tipo de energia no mundo, com mais de mil parques eólicos e cerca de onze mil torres distribuídas em 12 estados. Dentro desse panorama, a região Nordeste ocupa posição de destaque, concentrando a maior parte desta produção nacional, com o Rio Grande do Norte despontando como um dos estados com maior capacidade instalada. Apesar dos avanços no setor, a expansão desse tipo de empreendimento tem provocado significativas alterações na paisagem e no cotidiano de diferentes territórios, incluindo áreas tradicionalmente ocupadas, como por exemplo, comunidades quilombolas.

É nesse contexto que se insere a comunidade de Macambira, localizada na Serra de Santana, entre os municípios de Lagoa Nova, Bodó e Santana do Matos (RN). Embora a energia eólica seja amplamente divulgada como alternativa sustentável e fundamental na mitigação das mudanças climáticas, seus efeitos locais revelam contradições importantes. Entre os impactos percebidos pela população de Macambira, o ruído produzido pelas turbinas tem se destacado como uma fonte de desconforto. Além do barulho constante, a instalação dos empreendimentos trouxe também o desmatamento e a transformação do território, elementos que afetam diretamente a qualidade de vida e o vínculo histórico e cultural da comunidade com sua própria terra.

Diante desse cenário, o presente relatório tem como objetivo analisar os efeitos sonoros decorrentes da instalação dos parques eólicos em comunidades tradicionais, em especial a comunidade de Macambira, buscando compreender de que maneira o ruído interfere no bem-estar e no cotidiano dos moradores. Para isso, considera-se não apenas o impacto ambiental, mas também as implicações sociais e territoriais que emergem desse processo.

A relevância desta pesquisa reside na necessidade de ampliar o debate sobre os impactos das energias renováveis nessas comunidades, que frequentemente são invisibilizadas nos processos de planejamento e implantação desses empreendimentos. Embora o avanço da energia eólica seja essencial para a transição energética e para a redução das emissões de gases de efeito estufa, é igualmente fundamental que sua expansão seja compatibilizada com a garantia dos direitos territoriais, da saúde e da qualidade de vida das populações locais, dessa maneira, o estudo pretende contribuir para a reflexão sobre esses desafios.

Metodologia

A metodologia adotada neste estudo fundamenta-se em medições acústicas realizadas conforme os parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR 10151 (2019), que orienta a avaliação dos níveis de pressão sonora em áreas habitadas. As medições ocorreram tanto em ambientes externos, nas proximidades das residências, quanto em espaços internos, buscando captar diferentes condições de exposição ao ruído. Os pontos de coleta foram definidos em distintas distâncias das torres eólicas, permitindo analisar como a intensidade sonora também varia de acordo com a localização e em diferentes períodos do dia. Para isso, foram utilizados equipamentos de medição devidamente calibrados, como o decibelímetro, garantindo uma melhor precisão dos registros.

Além das medições in loco, houveram diálogos informais com a população e lideranças locais. Esse procedimento foi complementado por visitas técnicas, nas quais foram considerados fatores ambientais e físicos relevantes, como a configuração do relevo, a presença de vegetação e a distância entre as torres e as moradias. A incorporação dessas variáveis possibilitou uma melhor compreensão da distribuição espacial desse ruído e ofereceu uma visão mais completa desses impactos sonoros sobre a comunidade estudada.

Resultados e Discussões

As medições realizadas em campo, revelaram uma alteração no nível de pressão sonora (Figura 01). Em conversas informais com moradores foram encontrados diversos problemas, muitos deles, em relação à saúde e ao bem-estar, os relatos destacaram desconfortos relacionados à exposição contínua ao ruído, especialmente durante a noite, quando a zona rural se torna mais silenciosa e as atividades comunitárias praticamente cessam. Nesse período, a percepção do barulho das turbinas pode ser amplificada, comprometendo a qualidade do sono, o descanso e, em alguns casos, até a comunicação entre os moradores dentro de suas residências. Esse cenário foi descrito como uma interferência na tranquilidade noturna, tradicionalmente vinculada à serenidade da vida rural. Um dos casos mais emblemáticos foi o de uma família que reside a aproximadamente 120 metros de uma torre (Figura 02), onde os efeitos sonoros foram percebidos, medidos e diagnosticados como prejudiciais.

Além das queixas relacionadas ao ruído, surgiram também problemas estruturais nas residências. Muitos moradores relataram que as vibrações contínuas provocadas pelas turbinas têm causado rachaduras em suas casas (Figura 03), afetando a integridade das construções, sobretudo daquelas mais próximas às torres. Essa situação representa não apenas um prejuízo material, mas também uma ameaça à segurança e à estabilidade das famílias que vivem naquele território.

No setor agrícola, principal atividade econômica da comunidade, foram mencionados efeitos negativos associados tanto ao processo de desmatamento inicial para a instalação das torres quanto às alterações ambientais decorrentes das vibrações geradas pelos aerogeradores. Os relatos apontaram mudanças na fertilidade do solo e reduções na produtividade de culturas tradicionais, como fava e caju, o que compromete a subsistência e a renda dos moradores.

Outro ponto recorrente nas conversas foi a ocorrência de falhas técnicas nos equipamentos eólicos. Entre os casos relatados, destacam-se episódios em que partes das pás das turbinas se desprenderam e caíram, além de situações em que as torres apresentavam vazamentos de óleo (Figura 04), o que, além de danos ambientais, representa sérios riscos à segurança local. Em situações mais graves, foram mencionados incidentes de incêndio em torres, revelando a vulnerabilidade da população diante da falta de manutenção adequada e da ausência de respostas ágeis por parte das empresas responsáveis.

De forma geral, os resultados indicam que os impactos dos empreendimentos eólicos em Macambira vão muito além do desconforto acústico. Eles afetam simultaneamente dimensões materiais, ambientais, sociais e culturais, configurando um quadro complexo de vulnerabilidade comunitária. Assim, além das medições que comprovam esse desconforto, os relatos dos moradores reforçam a necessidade de pensar a implantação desses projetos não apenas sob a ótica do desenvolvimento energético, mas também considerando a realidade cotidiana e os modos de vida desses moradores.

Conclusão

Os resultados desta pesquisa mostram a multiplicidade de impactos associados à instalação de empreendimentos eólicos na comunidade quilombola de Macambira. Para além das questões ambientais, observou-se que a presença das torres tem alterado significativamente o cotidiano local, sobretudo no que se refere ao desconforto acústico e à consequente perda de qualidade de vida. As medições acústicas realizadas no território reforçam essa percepção, demonstrando níveis de ruído superiores ao esperado para áreas rurais.

As conversas informais com os moradores também apontaram questões estruturais e territoriais que extrapolam a dimensão individual. Entre elas, destacam-se as rachaduras em residências atribuídas às vibrações contínuas das torres, bem como a redução de áreas tradicionalmente voltadas para o plantio e outras atividades agrícolas essenciais à manutenção do modo de vida comunitário. Tais elementos revelam um quadro de conflito territorial e de fragilização das práticas culturais e econômicas locais. Constatase, dessa maneira, que os impactos decorrentes desses empreendimentos não se restringem ao campo técnico da geração de energia, mas atravessam essas dimensões sociais e culturais, comprometendo a integridade e a organização da comunidade.

Cabe destacar também, que como produto do trabalho realizado, houve a aprovação do trabalho intitulado de “Characteristics and Effects of Wind Turbine Noise in the Quilombola Community of Macambira – Lagoa Nova/RN, Brazil” em coautoria com Bianca Carla Dantas de Araujo, Maria Dulce Picanço Bentes Sobrinha e Rani Priscila de Sousa para apresentação no 54º Congresso e Exposição Internacional sobre Engenharia de Controle de Ruído (Internoise), o que reforça a relevância no campo dos estudos sobre impactos acústicos e sociais de empreendimentos energéticos desse tipo. Essa inserção em um evento de caráter internacional amplia o alcance da discussão e possibilita o diálogo entre diferentes perspectivas técnicas e sociais sobre o tema.

Em síntese, a experiência da comunidade de Macambira ilustra a urgência de compatibilizar desenvolvimento energético com justiça social. Somente por meio de práticas que respeitem os territórios e os modos de vida locais será possível avançar em direção a um modelo de baixo impacto que seja não apenas ambiental, mas também socialmente justo.

Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEÓLICA). Dados ABEEólica. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/energia-eolica/dados-abeeolica/>. Acesso em: 19 dez. 2024.
- SALVAGUARDAS-SOCIOAMBIENTAIS-PARA-ENERGIA-RENOVAVEL. Disponível em: <https://climainfo.org.br/2024/01/31/salvaguuardas-socioambientais-para-energia-renovavel-janeiro-de-2024/> Acesso em 22/06/2024
- CRUZ, Karla Dayane Bezerra. Os impactos da instalação de parques eólicos nas comunidades urbanas e rurais da Serra de Santana. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Centro de Tecnologia. Natal, RN, 2016.
- Fórum de Mudanças Climáticas e Justiça Socioambiental/RN. PARA ONDE E PARA QUEM SOPRAM OS VENTOS. Boletim Informativo. 2021. Disponível em <https://www.sarrn.org.br/cartilhas>. Acesso em 22/6/2024.
- HOFSTAETTER, Moema. Energia eólica: entre ventos, impactos e vulnerabilidades socioambientais no Rio Grande do Norte. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Estudos Urbanos e Regionais. PPEUR. Centro de Ciências Humanas Letras e Artes. Natal, 2016.
- HOFSTAETTER, M. Turismo e parques eólicos no litoral norte potiguar: espaços de valorização do capital e do aprofundamento das vulnerabilidades. 2021. 313f. Tese (Doutorado em Turismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- SAR – Serviço de Assistência Rural e Urbano. Manifesto das Vozes dos Territórios. Disponível em <https://www.sarrn.org.br/cartilhas>. Acesso em 22/6/2024.

Anexos



Figura 01 - Resultados de pressão sonora medidos em pontos na comunidade



Figura 02 - Imagem de satélite demonstrando a distância da casa para a torre



Figura 03 - Remendos em rachaduras provocadas pelas torres eólicas



Figura 04 - Torre eólica com quantidade excessiva de óleo

CÓDIGO: HS1188

AUTOR: AUGUSTO LEVI DE MOURA ROCHA

COAUTOR: MARINA MEDEIROS CORTES

ORIENTADOR: BIANCA CARLA DANTAS DE ARAUJO

TÍTULO: Praças históricas de Natal/RN: avaliação do contexto acústico e da paisagem sonora

Resumo

Este estudo analisou a paisagem sonora das praças Sete de Setembro e André de Albuquerque, localizadas no Centro Histórico de Natal/RN, com base nas diretrizes da ABNT NBR 10151 (2019). As medições foram realizadas em diferentes pontos das praças, considerando variações de tráfego, atividades humanas e sons naturais. Os resultados indicaram maiores níveis de pressão sonora nas áreas de esquina e bordas, fortemente impactadas pelo fluxo viário, enquanto os setores internos apresentaram condições acústicas mais equilibradas, com destaque para sons de aves, vento e conversas. Constatou-se que o tráfego constitui a principal fonte de poluição sonora, comprometendo o conforto acústico, mas a configuração espacial e a presença de vegetação podem contribuir para atenuar esses impactos. Conclui-se que, apesar da relevância histórica e cultural das praças, há necessidade de estratégias urbanísticas voltadas à melhoria da qualidade sonora, de forma a favorecer o bem-estar e a vivência social nesses espaços públicos.

Palavras-chave: Paisagem sonora; Praças históricas; Ruído urbano; Conforto acústico.

TITLE: Historic Squares of Natal/RN: Evaluation of the Acoustic Context and Soundscape

Abstract

This study analyzed the soundscape of Sete de Setembro and André de Albuquerque squares, located in the Historic Center of Natal/RN, based on the guidelines of ABNT NBR 10151 (2019). Measurements were conducted at different points within the squares, considering variations in traffic, human activities, and natural sounds. The results showed higher sound pressure levels at the corners and edges, strongly influenced by vehicular flow, while the inner areas presented more balanced acoustic conditions, with emphasis on birdsong, wind, and conversations. Traffic was identified as the main source of noise

pollution, compromising acoustic comfort, although spatial configuration and vegetation contribute to mitigating these impacts. It is concluded that, despite their historical and cultural relevance, the squares face significant challenges regarding acoustic comfort, highlighting the need for urban strategies aimed at improving sound quality and promoting well-being and social interaction in these public spaces.

Keywords: Soundscape; Historic squares; Urban noise; Acoustic comfort.

Introdução

O ambiente sonoro das cidades desempenha papel fundamental na qualidade de vida dos cidadãos, influenciando diretamente o bem-estar, a saúde e a forma como os espaços públicos são vivenciados. Em áreas centrais e históricas, como as praças urbanas, a paisagem sonora assume ainda maior relevância, pois esses locais funcionam como pontos de encontro, circulação e permanência, ao mesmo tempo em que estão fortemente inseridos na dinâmica do tráfego e das atividades urbanas. Pensando nisso, compreender a distribuição dos sons que compõem tais ambientes torna-se essencial para a formulação de estratégias de preservação, requalificação e gestão dos espaços públicos.

Nesse contexto, o presente plano de trabalho de bolsista é resultado da participação na pesquisa intitulada “Praças históricas de Natal/RN: avaliação do contexto acústico e da paisagem sonora”, a qual busca contribuir na compreensão da paisagem sonora dos locais analisados. Tal pesquisa representa um recorte da pesquisa “Palimpsesto: O Redesenho da Paisagem e as Intervenções do PAC Cidades Históricas no Centro de Natal(RN)”, que se propõe a analisar os impactos das intervenções do PAC Cidades Históricas no Centro de Natal/RN, especialmente nos espaços livres públicos. Busca compreender como os projetos executados redesenharam a paisagem e modificaram a ambiência urbana e patrimonial.

Pensando nisso, as praças Sete de Setembro e André de Albuquerque, localizadas no Centro Histórico de Natal/RN, foram selecionadas para serem analisadas por representarem marcos urbanos de grande importância simbólica, cultural e social. Sua relevância histórica, associada à função atual como áreas de convivência e passagem, torna esses espaços adequados para estudos de paisagem sonora, sobretudo em razão do contraste entre setores mais expostos ao tráfego viário e áreas internas com maior potencial de tranquilidade. Além disso, a diversidade de usos, a presença de edificações históricas, vegetação e mobiliário urbano ampliam a complexidade acústica dessas praças, configurando cenários nos quais diferentes tipos de sons coexistem.

A investigação dos níveis de pressão sonora, tomando como referência os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 10151 (2019), nesses locais possibilita compreender como fatores físicos, sociais e ambientais interagem na constituição da paisagem sonora urbana. O levantamento realizado buscou identificar e analisar tanto os níveis de pressão sonora contínua equivalente (LAeq, T) quanto às principais fontes sonoras presentes, distinguindo entre sons de origem antrópica — como trânsito, passos e conversas — e sons naturais, como vento e canto de aves. Ao integrar aspectos quantitativos (medições) e qualitativos (análises de mapas e configuração urbana), este estudo pretende contribuir

para a reflexão sobre o conforto acústico em espaços públicos e para o reconhecimento da dimensão sonora como parte integrante da experiência urbana.

Assim, o objetivo deste trabalho é realizar uma avaliação sonora das praças Sete de Setembro e André de Albuquerque por meio de medições sistemáticas, discutindo a relação entre os níveis de ruído registrados, as fontes identificadas no momento das medições e as características do entorno do local.

Metodologia

Seguindo os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 10151 (2019), adotou-se o método de medição simplificado. Desse modo, para caracterizar a distribuição sonora até os possíveis receptores (usuários das praças e edificações no entorno), foram definidos alguns pontos de medição e suas respectivas localizações, considerando a propagação sonora por via aérea em ambiente externo.

As medições realizadas em visita tinham duração de 5 minutos (tempo de amostragem) nos registros diurnos, de forma a obter o nível de pressão sonora contínuo equivalente (LAeq, T). Os registros foram realizados considerando o som intermitente, caracterizado pelos sons do momento em cada turno. As medições/registros dos níveis de pressão sonora foram efetuadas em pontos afastados 1,5 m do piso e pelo menos 2 m de quaisquer superfícies refletoras.

Para a análise realizada, considerou-se a vivência nas praças e seu entorno como a principal fonte de ruído advindo das praças (transeuntes, animais, vendedores ambulantes, trânsito). Os espaços considerados nas praças incluem os passeios, áreas de permanência (bancos) e áreas de ocupação multiuso dos usuários. Considerando tais ambientes, foram definidos diversos pontos de medição pelas praças analisadas.

Os espaços analisados nesta pesquisa foram a Praça Sete de Setembro e a Praça André de Albuquerque (Figura 1). Nesse contexto, foram distribuídos 9 pontos para realizar as medições nessas praças históricas de Natal/RN.

As medições foram realizadas no dia 10/04/2025, para a verificação dos níveis de pressão sonora da área. Tais registros ocorreram no período diurno, começando às 14:45, sendo definidos 4 pontos na Praça Sete de Setembro e 5 na Praça André de Albuquerque.

Instrumentação e dados climáticos

Medidor de Nível Sonoro 01dB, modelo SOLO SLM2, Tipo 2 (Figura 2). O equipamento possui filtros de 1/3 de bandas de oitava, recursos de medição de nível de pressão sonora equivalente (LAeq), conforme a IEC 60804, medições paralelas de Lp, Lpk (com ponderação temporal) e faixa de medição de 30 a 140 dB.

As medições foram realizadas sem nenhuma interferência de fenômenos da natureza (Figura 3) no período de medição/registros, visto que medições em condições meteorológicas adversas devem ser evitadas, no intuito de não causarem interferência nos resultados, conforme as normas técnicas adotadas.

Resultados e Discussões

Configuração urbana

As propostas de intervenção do PAC Cidades Históricas para a Praça Sete de Setembro (Figura 4) e André de Albuquerque (Figura 5), em Natal/RN, incluíram a substituição do piso, a reconfiguração dos canteiros e a requalificação do paisagismo, com o objetivo de valorizar a estética e a funcionalidade do espaço. Também foram previstas ações para garantir a acessibilidade, por meio de rampas, calçadas adequadas e vagas de estacionamento acessíveis, além da instalação de novos equipamentos urbanos, como bancos, lixeiras e postes. Tais propostas foram executadas, em sua grande maioria, de acordo com o projeto definido.

Além disso, um aspecto que exerce influência direta sobre a paisagem acústica das praças é o gabarito das edificações do entorno. Edificações mais altas tendem a atuar como barreiras sonoras, reduzindo a propagação de ruídos vindos das vias próximas para o interior da praça, o que pode gerar áreas de maior tranquilidade em seu núcleo. Ao mesmo tempo, essas construções também podem provocar o efeito de reverberação, refletindo e amplificando sons, especialmente em praças com poucos recuos entre os edifícios ou com ruas estreitas ao redor. Por outro lado, os gabaritos mais baixos, irregulares e com recuos entre os edifícios permitem maior dispersão do som gerado nas praças, favorecendo a entrada de ruídos do tráfego e de atividades externas, o que pode reduzir a sensação de conforto acústico. Essa segunda configuração é a que caracteriza melhor o gabarito das praças analisadas (Figura 6), apesar de vários locais terem edifícios geminados, sem recuos entre eles.

Outro aspecto importante para ser observado são os usos do solo nas edificações que compõem as praças e o seu entorno. O uso é bastante diversificado nas duas praças (Figura 7), apresentando uso residencial, comercial, misto e institucional. Apesar disso, o uso institucional é mais preponderante, conferindo características, na maior parte do tempo, mais tranquilas para a região, com exceções pontuais de manifestações políticas na Assembleia Legislativa do RN e atrações culturais na Pinacoteca. Além disso, devido à prevalência do uso institucional, a região acaba tendo pouca movimentação no período noturno.

Medições sonoras

As medições da primeira ficha de campo foram realizadas no dia 10 de abril de 2025, contemplando diferentes pontos das praças Sete de Setembro (pontos 1 a 4) e André de Albuquerque (pontos 5 a 9), em Natal/RN. A temperatura no momento do levantamento

era de 29,3 °C e a umidade relativa do ar de 74%, condições que favorecem a propagação do som em ambientes externos. Os registros possibilitaram não apenas a quantificação do nível de pressão sonora equivalente (LAeq), mas também a identificação das principais fontes sonoras presentes em cada setor, associadas ao tráfego, às atividades humanas e a elementos ambientais, como o vento e o canto de aves.

Na Praça Sete de Setembro, o ponto 1 revelou o maior nível sonoro dentre todos os medidos, com LAeq de 73 dB em apenas cinco minutos de observação. Esse resultado se explica pela localização estratégica na esquina da praça, onde convergem duas vias de tráfego intenso e se localiza um ponto de ônibus de grande fluxo. Nesse ponto foram contabilizados 16 veículos leves, 3 pesados e 3 motocicletas, confirmando a predominância dos sons de motores e pneus em movimento, além do ruído contínuo do fluxo. A elevada intensidade captada nesse ponto reflete diretamente a função urbana da praça, marcada pela proximidade com paradas de ônibus e pela forte integração ao sistema viário.

Ao passo que, o ponto 2, situado no centro da praça, apresentou um ambiente muito mais equilibrado acusticamente, com LAeq de 54 dB. Nesse local não foram registrados veículos durante o período de observação, o que permitiu a predominância de sons de menor intensidade, como o canto de pássaros, a movimentação do vento entre as folhas das palmeiras e conversas ocasionais de transeuntes. O contraste entre o ponto 1 e o ponto 2 evidencia a diferença entre as bordas e o núcleo da praça: enquanto as margens estão fortemente marcadas pelo tráfego urbano, o interior proporciona uma experiência acústica mais amena, aproximando-se daquilo que pode ser considerado um refúgio sonoro dentro da malha central.

O ponto 3, também em esquina e próximo a um estacionamento com fluxo de veículos durante a medição, apresentou 55 dB de nível equivalente, com a passagem de oito veículos leves, um pesado e uma motocicleta. Ainda que os valores médios tenham sido relativamente baixos, as observações destacaram a coexistência entre sons naturais (aves) e sons mecânicos (motores e motos), configurando um espaço híbrido, onde a poluição sonora se faz presente, mas de forma intercalada com elementos sonoros agradáveis. Semelhante a isso, o ponto 4 manteve a tendência de níveis sonoros próximos aos 55 dB (54 dB de LAeq). Nesse caso, a diversidade das fontes sonoras foi maior: registraram-se 12 veículos leves e uma motocicleta, mas também sons de condensadores de ar (Figura 8), buzinas, freadas de ônibus e conversas. A soma desses elementos criou uma paisagem sonora mais fragmentada, com sobreposição de sons artificiais e humanos, revelando a complexidade do ambiente acústico urbano.

Na Praça André de Albuquerque, os valores oscilaram entre 57 dB e 66 dB, com predominância de sons relacionados ao tráfego. O ponto 5, que fica próxima a um ponto de ônibus, registrou um dos maiores valores médios, 66 dB, associado ao trânsito de 14 veículos leves, 4 pesados e 7 motocicletas, além de conversas distantes. Esse resultado reforça o impacto significativo das bordas viárias sobre o ambiente sonoro da praça, principalmente em setores com maior fluxo motorizado.

O ponto 6, localizado em área de menor fluxo, apresentou 57 dB, valor mais próximo ao que a literatura associa a níveis de conforto acústico em espaços públicos abertos. As anotações registraram passos, conversas distantes, gritos, buzinas e a presença de um

ônibus distante, elementos que, embora diversos, não configuraram poluição sonora intensa. Esse ponto sugere a existência de setores da praça com melhor qualidade sonora relativa, ainda que sujeitos a interferências ocasionais. Por sua vez, o ponto 7 apresentou 63 dB, associado a sons típicos de esquina movimentada: buzinas, alarmes de veículos, portas batendo, freadas bruscas e pessoas em circulação. Trata-se de um cenário urbano de forte dinamismo, em que a paisagem sonora é marcada por ruídos repentinos e variados, caracterizando maior imprevisibilidade acústica.

Já o ponto 8, situado no Obelisco, destacou-se por ser o mais silencioso da praça, com apenas 57 dB de nível equivalente e ausência de registro de veículos durante o período da medição. Esse dado confirma que a localização em áreas internas e monumentais pode oferecer maior tranquilidade, funcionando como espaço de escape dentro do conjunto urbano. Por fim, o ponto 9 registrou 59 dB, em um ambiente de esquina onde foram observados gritos, conversas e a passagem de 14 veículos leves e 5 motocicletas. Apesar da presença do tráfego, os níveis permaneceram relativamente moderados, embora as vozes e manifestações humanas tenham se destacado como componentes principais da paisagem sonora.

De acordo com a NBR 10151 (2019), a qual estabelece os limites de pressão sonora de 55 dB para o período diurno e 50 dB para o noturno em áreas residenciais, apenas três pontos extrapolam consideravelmente esses limites, sendo eles: 1, 5 e 7, registrando 73 dB, 66 dB e 63 dB, respectivamente. A partir disso, observa-se que os pontos com maior nível de pressão sonora registrados se encontram nas margens das praças, voltados para vias com maior fluxo de veículos, incluindo rotas de ônibus.

Conclusão

A análise realizada nas praças Sete de Setembro e André de Albuquerque, localizadas no Centro Histórico de Natal/RN, permitiu compreender de forma mais ampla a dinâmica da paisagem sonora desses espaços públicos e a influência das diferentes fontes sonoras sobre a qualidade ambiental. As medições evidenciaram que os níveis de pressão sonora variam significativamente entre setores centrais e bordas das praças, com registros mais elevados nas áreas próximas às vias de tráfego intenso e valores mais amenos em áreas internas e monumentais.

Os resultados demonstram que o tráfego viário é o principal agente de poluição sonora, sobretudo em pontos de esquina e cruzamentos, onde a soma de veículos leves, pesados e motocicletas gera picos de ruído que comprometem o conforto acústico dos usuários. Por outro lado, os núcleos das praças revelaram-se espaços de maior equilíbrio, nos quais se destacam sons naturais — como o canto de aves e o vento entre a vegetação — e manifestações sociais, como conversas e passos, compondo uma paisagem sonora mais agradável. Essa dualidade reforça a importância da configuração espacial e da vegetação como elementos que podem mitigar os impactos da poluição sonora em áreas urbanas centrais.

Constatou-se ainda que, embora em alguns pontos os níveis médios registrados se aproximem dos valores considerados aceitáveis pela literatura para espaços públicos abertos, a presença constante de sons intermitentes, como buzinas, freadas e alarmes, compromete a percepção de tranquilidade. Isso evidencia que a qualidade acústica não deve ser avaliada apenas pelos índices numéricos, mas também pela diversidade e imprevisibilidade dos sons que compõem o ambiente.

Dessa forma, conclui-se que as praças estudadas, apesar de sua relevância histórica e cultural, ainda enfrentam desafios significativos no que diz respeito ao conforto acústico. A mitigação desses impactos demanda estratégias urbanísticas e de gestão que priorizem o controle do tráfego, a valorização da vegetação e o incentivo a usos sociais que potencializem sons mais agradáveis e identitários. A pesquisa reforça, portanto, a necessidade de integrar a dimensão sonora às políticas de preservação e requalificação dos espaços públicos, de modo a promover não apenas a conservação patrimonial, mas também o bem-estar e a qualidade de vida dos cidadãos que utilizam cotidianamente o Centro Histórico de Natal.

Referências

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE/ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA (ANSI/ASA), Procedure for the Computation of Loudness of Steady Sounds, S3.4 2007 Edition.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019.

MAY, P., DAVIES, P. & BOLTON, J.S., Correlations between objective and subjective evaluations of refrigerator noise. Proceedings of NOISE-CON 96, pp. 2257-2260. Liverpool, U.K., July–August, 1996.

POULSEN, T. Influence of session length on judged annoyance. Journal of Sound and Vibration, 145(2), 217–224 (1991).

RYHERD, E. E. & WANG, L. M. Effects of exposure duration and type of task on subjective performance and perception in noise. Noise Control Engineering Journal, 55(3), 334–347 (2007).

TANG, Q., Liu, S. & ZENG, F. G. Loudness adaptation in acoustic and electric hearing. Journal of the Association for Research in Otolaryngology, 7(1), 59–70 (2006).

ZWICKER E. & FASTL, H. Psychoacoustics: Facts and Models, 3rd Edition, Springer, 2006.

Anexos



Figura 1 – Praças analisadas e seus pontos



Figura 2 - Foto do medidor digital de nível de pressão sonora utilizado nas medições/registros



Figura 3 – Dados meteorológicos dos dias de medição



Figura 4 – Projeto da Praça Sete de Setembro



Figura 5 – Projeto da André de Albuquerque



Figura 6 – Mapa de gabarito das praças



Figura 7 – Mapa de uso do solo das praças



Figura 8 – Condensadores de ar fonte de ruídos



Tabela 1 – Dados obtidos nas medições

CÓDIGO: HS1255

AUTOR: DANIEL VICTOR FERNANDES DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: BERNARDO NASCIMENTO SOARES

TÍTULO: Pesquisa Histórica de Origem e Expansão de Assentamentos Informais, 1930-1960

Resumo

O processo de urbanização da capital potiguar se desenvolveu a partir do modelo de exclusão e segregação presente em outras grandes cidades da periferia do capitalismo. A reprodução da desigualdade advinda desse modelo se concretiza a partir da formação das favelas no território urbano, frequentemente invisibilizadas socialmente e na história. Buscando preencher a lacuna existente na história da cidade, e reunir as informações históricas dispersas, este trabalho descreve o processo de reconstituição do processo de favelização de Natal. Tendo em vista os resultados do primeiro ano da pesquisa, e a continuidade dos estudos nos recortes de 1930-1964, este artigo apresenta os avanços obtidos neste último ano.

Palavras-chave: Favela. História. Natal.

TITLE: Research on History of origin and expansion of informal settlements in Natal - 1930 -1964

Abstract

The urbanization process of the capital of Rio Grande do Norte developed from the model of exclusion and segregation present in other large cities on the periphery of capitalism. The reproduction of inequality stemming from this model is concretized through the formation of favelas in the urban territory, often rendered invisible socially and historically. Seeking to fill the gap in the city's history and bring together scattered historical information, this work describes the process of reconstructing the favela formation process in Natal. Taking into account the results of the first year of research and the continued studies covering the period 1930–1964, this article presents the progress made in the last year.

Keywords: Favela. History. Natal.

Introdução

A cidade de Natal, capital do Rio Grande do Norte, apresenta um modelo de urbanização comum na periferia do capitalismo, reproduzindo desigualdades sociais com segregação espacial. Este tipo de desenvolvimento urbano ao longo do tempo se cristalizou na formação de favelas, que permaneceram ocultas ou tiveram suas origens datadas tardiamente por historiadores como Câmara Cascudo e Itamar de Souza, além de documentos oficiais do poder público, como o Relatório da Situação das Favelas de Natal, produzido pelo Instituto de Planejamento Urbano de Natal (Natal, 1987).

Os territórios informais, apesar de acompanharem o tecido urbano desde o embrião, têm suas populações invisibilizadas por não estarem dentro da cidade formal - ficando à margem do interesse da maioria dos estudiosos (Valladares, 2000). Por isso, torna-se um desafio a reconstrução da história desses espaços, mesmo ocupando 40% a 70% do território das grandes cidades do “Terceiro Mundo” (Arantes, 2008, p.4).

Lançando o questionamento sobre o processo de origem da favelização em Natal, o grupo no primeiro ano da pesquisa buscou em diversos acervos de periódicos publicados durante os anos de 1890-1930, as primeiras menções à precariedade habitacional no espaço urbano de Natal. O recorte temporal foi escolhido em virtude das transformações profundas com as reformas urbanas e higienistas a partir da segunda metade do século XIX (Ferreira et. Al, 2008), que coincidiu com as primeiras ocupações homólogas a favelas no espaço urbano. Concomitantemente a essas buscas, foram coletadas fotografias de livros e acervos fotográficos digitais, a fim de obter maiores detalhes das tipologias construtivas existentes nas favelas mais antigas de Natal. Os resultados foram divulgados nos anais do Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica de 2024.

No presente ano, a pesquisa prosseguiu no recorte de 1890-1930, com a descoberta de mais edições dos jornais A República no período, e também uma melhor categorização e seleção dos recortes, resultando em uma síntese mais aprimorada da reconstituição histórica da origem das favelas natalenses. Diante disso, as pesquisas no recorte 1930-1964 começaram posteriormente, mas mesmo em fase inicial, revelam informações muito importantes sobre o desenvolvimento urbano de Natal. O artigo está dividido em metodologia, resultados e discussões dos progressos feitos no presente ano, e conclusões que apontam para as direções futuras da pesquisa.

Metodologia

Devido ao crescimento lento da cidade de Natal nos três primeiros séculos de sua existência (Ferreira et. Al, 2008), e ao estado geral de precariedade nesse período (Teixeira, 2023, p. 69), o grupo de pesquisa aprofundou os estudos do crescimento urbano a partir da transição para a República até os tempos atuais. Esse período a partir de 1890 foi dividido em 4 recortes temporais, com o fito de organizar o embasamento teórico-metodológico, as buscas por referências, a categorização dos materiais encontrados e a produção de artigos científicos. O primeiro recorte, alvo do ano

anterior e deste, inicia em 1890, primeiro ano após a proclamação da República, e termina em 1930, início da Era Vargas. O recorte 1930-1964, desenvolvido nos últimos meses do período vigente da pesquisa, passa pela Era Vargas até o golpe cívico-militar de 1964. Os demais recortes - 1964 a 1990 e 1990 aos dias atuais - serão desenvolvidos nos próximos anos de pesquisa. Inicialmente, o grupo se debruçou em produções acadêmicas, como as do Grupo de Pesquisa História da Cidade, do Território e do Urbanismo (HCURB), da UFRN, para construir um arcabouço teórico que contextualiza os momentos históricos que ocorriam nestes anos, bem como indica potenciais fontes de busca de outras fontes para análise, com novos questionamentos. Esse embasamento teórico conta com obras de autores como Angela Ferreira (2008), George Dantas (2006) e Giovana Oliveira (1999). Ademais, a investigação histórica das origens das favelas natalenses foi desenvolvida especialmente pelas fontes primárias, como os periódicos locais, que se aproximam do dia a dia vivenciado à época, bem como as contradições da cidade recém-republicana, a partir do viés oligárquico do editorial. As descrições dos bairros da capital, por menores que fossem, trouxeram informações valiosas ao estudo. Esse processo se desenrolou ao longo de 2024 e 2025, entre buscas, categorização e análise das notícias de jornal. As buscas se deram nos jornais “A República”, “Diário do Natal” e “Gazeta do Natal”. Os dois últimos foram concluídos ainda em 2024, ao passo que o primeiro, devido a existência de mais edições acessíveis para análise, exigiu continuidade para o ano seguinte, sendo concluído no início de 2025. Os acervos consultados foram Hemeroteca Nacional, da Biblioteca Nacional, Laboratório de Imagens (LABIM) do Departamento de História da UFRN, acervos de jornais digitalizados da Biblioteca Central Zila Mamede, também da UFRN, o acervo de jornais digitalizados do Grupo de Pesquisa Espaços na Modernidade, também do Departamento de História da UFRN, e o acervo do Arquivo Público do Estado do Rio Grande do Norte. O método de busca foi diferenciado em cada um deles, envolvendo desde ferramenta de pesquisa textual, nos três primeiros acervos, e leitura integral dos documentos, no caso dos dois últimos. As limitações para este tipo de pesquisa em acervos incluíram desde a indisponibilidade de alguns anos do jornal Diário do Natal em acervos digitais e físicos, e o estado de má conservação de muitos exemplares do jornal A República no acervo do Arquivo Público. A categorização e concomitante análise do material encontrado foi realizada também ao longo de 2024 e 2025, com o auxílio de ferramentas, tais como planilhas eletrônicas do Google Sheets e murais digitais no Canva. Uma prévia categorização e análise foi concluída ainda em 2024, com os dados promissores já encontrados, que culminaram na produção de um artigo para o Seminário de História da Cidade e do Urbanismo ocorrido em Novembro daquele ano. A estrutura de tabelas construída naquele ano foi mantida, com dados de ano, periódico de origem, data, título da notícia, página, conteúdo da notícia, relevância, base de dados (acervo), nome do arquivo da foto e o link de acesso ao arquivo (figura 1). A categorização dos registros foi aprimorada ao longo de 2025, ao passo que os critérios das categorias de relevância dos registros foram melhor delimitados, permitindo análises quantitativas e subjetivas mais precisas do material encontrado. A pesquisa neste recorte se encerra com 5 categorias de relevância, a saber:

- Registro de relevância 1: Obrigatoriamente menciona o termo “Favela (s)” para se referir a alguma localidade em Natal;

- Registro de relevância 2: Identifica casebres, choupanas, cabanas, cortiços, barracos (agrupamento) no espaço da cidade;
- Registro de relevância 3: Identifica casebre, choupana, cabana, barraco (isoladamente) no espaço da cidade;
- Registro de relevância 4: Identifica situações de irregularidade, pobreza, atividades relacionadas à força de trabalho, seca e/ou retirantes, eventos criminais, de aforamento, ações de saúde pública, atreladas a determinada área ou ocupação;
- Registro de relevância 5: Menções gerais a condições de crise habitacional, pobreza, atividades relacionadas à força de trabalho, seca e/ou retirantes, eventos criminais, ações de saúde pública, entre outros, não atreladas a ocupação.

A principal mudança foi o destrinchamento da categoria de relevância 4 em duas. Anteriormente, estavam agrupados todos os registros com menções gerais a condições de pobreza, eventos criminais, de aforamento, ações de saúde pública, entre outros. No entanto, ao analisar os registros dessa categoria, percebeu-se que alguns indicavam ocupação de alguns espaços na cidade, mesmo sem menções a tipologias habitacionais como nas categorias 2 e 3. Isso motivou a divisão em mais uma categoria, separando as menções gerais atreladas à ocupação de espaços com características de favelização, das menções sem esse tipo de relação. Assim como em 2024, os arquivos dos recortes de jornais encontrados no corrente ano também foram organizados em pastas por periódicos, e adicionados à tabela de registros do grupo de pesquisa. Além disso, iniciou-se nos dois últimos meses, uma categorização mais detalhada das fotografias (figura 2) que foram encontradas ao longo do processo, tanto oriundas do período estudado, como do recorte seguinte.

Resultados e Discussões

Ao concluir as buscas em todos os periódicos para o recorte 1890-1964, foram encontrados 74 recortes de jornais sobre os mais diferentes aspectos do processo de favelização e pobreza em Natal (figura 3). Em nenhum deles foi empregado o termo “favela”, revelando que a acepção do termo pela população natalense seria posterior. No entanto, foram encontrados 12 registros de relevância 2, descrevendo casebres, choupanas e similares, especialmente entre 1900 e 1909 (7 registros). Também foram encontrados 9 registros de relevância 3, igualmente concentrados entre 1890 e 1909, relatando cabanas e similares de maneira isolada. Essas duas categorias revelam a precariedade habitacional presente em alguns lugares da cidade, mesmo que o termo favela não estivesse sendo empregado.

Os registros de relevância 4 foram numerosos (38 registros), concentrados especialmente entre 1910 e 1930. Esses recortes jornalísticos incluem diversas situações, como epidemias nas Rocas e no Alecrim, bem como a concentração de indigentes e a vulnerabilidade social no Passo da Pátria. O vínculo destes relatos com um local específico também indica sua ocupação espacial, sendo registros sutis do surgimento e do desenvolvimento das primeiras favelas de Natal.

Por fim, os registros de relevância 5, 15 no total, ajudam a descrever o contexto em que se situava a cidade em cada década, especialmente em relação à significativa quantidade de imigrantes que ocupou as ruas da cidade em alguns anos e à crise habitacional causada

por esse e outros fatores, como as desapropriações da Cidade Nova, carestia dos aluguéis e escassez de material de construção.

A fim de sintetizar os dados obtidos e o conhecimento produzido, produziu um esboço cartográfico em 2024, que foi atualizado em 2025 com demarcações mais precisas das comunidades urbanas, e novas fotos. Com o início da busca nos recortes de 1930-1964, foi verificado que a expansão e surgimento das novas favelas em Natal seguiu os padrões determinados pelos eixos de desenvolvimento urbano popular e de elite desenhados pelo grupo no mapa (figura 4).

Além disso, nas primeiras buscas segundo recorte, o termo “Favela” aparece recorrentemente, sendo o primeiro encontrado no ano de 1943, alguns anos antes do determinado em outros estudos para o surgimento das favelas em Natal. Também aparecem reportagens com fotografias, e é notado um aumento do destaque que se dá às favelas, muitas vezes ocupando manchetes que as descrevem como obstáculos às obras higienizantes e embelezadoras (figura 5).

Por fim, nos dois últimos meses, o grupo também testou algumas opções de plataformas e programas para produção de mapas compartilháveis, com o intuito de divulgar o conhecimento com as comunidades. A alternativa que vêm apresentando melhor atendimento às nossas demandas é o Arcgis Storymaps. O desenvolvimento do conteúdo ainda está em fase inicial e deve prosseguir pelo próximo ano de pesquisa, sendo alimentado com as novas descobertas dos recortes temporais vindouros.

Conclusão

Ao final do segundo ano de pesquisa sobre as origens históricas das favelas e comunidades urbanas de Natal, o grupo efetivamente alcançou o término da primeira fase dos estudos - o período de 1890 a 1930. Ao longo dos meses, foram analisados os jornais disponíveis que ainda restavam e foram aprimorados os métodos de categorização e análise do material obtido.

Concomitantemente, foram produzidos alguns resumos expandidos para eventos sobre a temática, como o Encontro Nacional de Arquitetura Comunitária, a ocorrer em novembro de 2025, e o Encontro Internacional de Experiências de Planejamento em Contexto de Conflito Social, ocorrido em agosto de 2025. Também está em processo de submissão um artigo para a revista Risco, revista de pesquisa em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

A análise do panorama traçado pelos vestígios jornalísticos encontrados permite chegar a algumas conclusões. Primeiro, que a reestruturação urbana promovida pela elite local por meio da Cidade Nova, com remoção da população pobre do local, gerou repercussões sobre as práticas higienistas sociais nos jornais, com argumentos a favor e contra a remoção dos casebres. Além disso, o projeto da Cidade Nova definiu os rumos de expansão (e segregação) da cidade pelos próximos 100 anos. Os bairros de elite, em

sua maioria, se desenvolveram ao longo do eixo formado pelas vias do bairro nascente, enquanto que os bairros populares se desenvolvem em direções opostas, inicialmente com a formação das Rocas e do Alecrim, e posteriormente se expandindo à orla, e às zonas Oeste e Norte, como visto na figura 4.

Além disso, é possível afirmar que atualmente, o Passo da Pátria é a favela mais antiga de Natal. A primeira menção ao Passo acontece ainda em 1896 (figura 6), relatando uma senhora que vende garapa de cana em estado de varíola gravíssimo. Frequentemente relacionado a doenças, miséria, jogatina e prostituição, o Passo da Pátria se torna o “destino final” daqueles indigentes que chegam na cidade e não encontram abrigo em mais nenhum outro lugar. Destinado à “destruição [...] como única medida prophylática” pelo livro de Januário Cicco, “Como se higienizaria Natal” (1920), o Passo permaneceu, se expandiu, e se consolidou como uma das comunidades urbanas mais tradicionais de Natal.

Por fim, para o próximo ano de pesquisa, o grupo pretende prosseguir no aprofundamento das buscas para o recorte de 1930 a 1964, com buscas iniciais já feitas, e desenvolver também o conteúdo de divulgação de mapas compartilháveis. Assim, espera-se obter um panorama da origem, expansão e consolidação dos assentamentos informais urbanos da capital potiguar.

Referências

ARANTES, Pedro Fiori. O Lugar da Arquitectura num “Planeta de Favelas”. Opúsculo: Pequenas Construções Literárias sobre Arquitectura, Porto, 2008, n. 11, Dafne Editora, mar. 2008.

CICCO, Januário. Como se Higienizaria Natal: algumas considerações sobre seu saneamento. Natal: Atelier Typ. M. Victorino, 1920

DANTAS, George Alexandre Ferreira. Crise urbana em Natal na virada para os anos 1920: impasses da modernização e saberes técnicos. Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online), São Carlos, Brasil, n. 3, p. 66–85, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/risco/article/view/44658>.. Acesso em: 20 jun. 2024.

FERREIRA, Ângela Lúcia; EDUARDO, Anna Rachel Baracho; DIAS, Ana Caroline Dantas; DANTAS, George Alexandre Ferreira. Uma cidade sã e bela: a trajetória do saneamento de Natal - 1850 a 1969. Natal: IAB/RN; CREA/RN, 2008.

NATAL. Secretaria Municipal de Planejamento. Instituto de Planejamento Urbano de Natal. Relatório de Situação das Favelas de Natal. Natal, 1987.

OLIVEIRA, Giovana Paiva de. De cidade a cidade: o processo de modernização de Natal 1889-1913. Natal: Edufrn, 1999.

OLIVEIRA, Giovana Paiva de. A modernização do espaço urbano de natal no início do século XX. In: [FERREIRA, A. L.; OLIVEIRA, G. P. (Orgs.)]. Natal: intervenções urbanísticas, morfologia e gestão da cidade. Natal: EDUFRN, 2006. pp. 33-68.

SOUZA, Itamar de. Nova História de Natal. Natal: Departamento Estadual de Imprensa, 2008.

VALLADARES, Licia. Gênese da Favela Carioca. A produção anterior às ciências sociais. Revista Brasileira de Ciências Sociais, Vol. 15, N. 44, p. 5-34, out. 2000.

TEIXEIRA, Rubenilson Brazão. O que era, mas ainda não. Uma urbanização em construção na Província do Rio Grande do Norte (1800-1850). In: FRIDMAN, Fania; FERREIRA, Carlos Henrique C. (Orgs.). Urbanizações brasileiras 1800-1850. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2023, pp. 68-87

Anexos



Figura 1 - Estrutura da planilha



Figura 2 - Planilha de fotografias



Figura 3 - Planilha síntese dos resultados



Figura 4 - Esboço Cartográfico



Figura 5 - Manchete do jornal O Poti



Figura 6 - Casa de cana no Passo da Pátria em 1896

CÓDIGO: HS1304

AUTOR: MARCONE PEDRO DA SILVA MOURA

ORIENTADOR: RENATO DE MEDEIROS

TÍTULO: Caracterizando representações e apresentações de projetos de edifícios verticais em Natal/RN

Resumo

O trabalho, fruto de uma pesquisa de iniciação científica, analisa a representação de projetos de edifícios verticais contemporâneos em Natal/RN como produtos imobiliários inseridos na lógica do consumo. A partir da análise de quatro empreendimentos, investigam-se estratégias de inserção urbana, setorização espacial, humanização gráfica e linguagem persuasiva nos materiais publicitários. Os resultados revelam uma comunicação padronizada voltada às classes de maior renda, reforçando valores como status, exclusividade e localização privilegiada, o que reforça dinâmicas típicas de outros centros urbanos, contribuindo para o entendimento do cenário local quanto ao tema.

Palavras-chave: arquitetura; urbanismo; projeto de arquitetura; verticalização; Natal.

TITLE: Characterizing the representations and presentations of vertical building projects in Natal/RN

Abstract

This article, the result of an undergraduate research project, analyzes the representation of recent vertical building designs in Natal/RN as real estate products embedded in consumer logic. Based on the analysis of four developments, the study investigates strategies of urban integration, spatial layout, graphic humanization, and persuasive language in promotional materials. The findings reveal a standardized communication aimed at higher-income groups, reinforcing values such as status, exclusivity, and privileged location. These elements reflect dynamics typical of larger urban centers and contribute to a broader understanding of the local real estate landscape.

Keywords: architecture; urbanism; architectural design; verticalization; Natal.

Introdução

Este trabalho analisa a representação de projetos de edifícios verticais contemporâneos em Natal/RN, entendendo-os como produtos imobiliários inseridos na lógica do consumo. Organizado em quatro partes, a primeira é dedicada à caracterização da verticalização na cidade, enquanto a segunda apresenta o método e o universo da pesquisa. Posteriormente são apresentados os dados e as análises realizadas para, a seguir, tecer as considerações finais. De caráter qualitativo e comparativo, a pesquisa baseia-se na análise de materiais publicitários de quatro empreendimentos concebidos por dois escritórios de arquitetura de destaque local. As investigações sobre as representações concentraram-se em quatro eixos: inserção urbana, setorização espacial, estratégias gráficas de humanização e linguagem publicitária.

Metodologia

Partindo da premissa de que os projetos arquitetônicos, sobretudo aqueles voltados à verticalização, não se encerram em suas dimensões técnicas, mas articulam-se também aos discursos visuais e simbólicos que os promovem junto ao mercado e à sociedade, o presente estudo volta-se à avaliação das estratégias de representação dos edifícios verticais contemporâneos situados em Natal/RN. Desse modo, foi realizada uma análise gráfica dos projetos, por meio de seus desenhos — método utilizado por diversos pesquisadores, tais como Florio *et al* (2002) e Tagliari (2008). Orientada por quatro categorias principais, o estudo desenvolve uma análise qualitativa de cunho comparativo das representações de seus projetos, abordando os vieses: (i) da inserção urbana e da articulação com elementos referenciais do entorno; (ii) da setorização espacial dos pavimentos tipo; (iii) das estratégias de humanização nas representações gráficas; e, por fim, (iv) da linguagem comunicacional e dos recursos discursivos voltados à persuasão de sua clientela. Com isso, buscou-se analisar o modo como os projetos, ao serem apresentados mediante material publicitário, passam a operar como artefatos comunicacionais, nos quais se entrelaçam, indissociavelmente, intenções projetuais, narrativas de valor e apelos mercadológicos. Essa abordagem encontra respaldo em estudos como os de Alves (2009), que analisa a publicidade imobiliária como um campo simbólico capaz de transformar o imóvel em construção retórica, por meio de imagens hiper-realistas, nomes conceituais e narrativas de estilo de vida. Nesse contexto, as representações arquitetônicas na produção do mercado imobiliário indicam uma estratégia focada no marketing e na lucratividade, utilizando a forma e a imagem do edifício para comunicar valores de signo, agregar valor pela associação à status, aos sonhos e à localização privilegiada (ou criada) e, em certa medida, traduzir os anseios percebidos do cliente-alvo (Vargas, 2013). O universo da pesquisa compreende quatro empreendimentos representativos da produção arquitetônica natalense recente, concebidos por dois escritórios de expressiva atuação local: Abreu e Barros Arquitetura, responsável pelos projetos (1) Afonso 1095 e (2) Galeria Residencial; e EMA Arquitetura, autor dos edifícios (3) Jardins do Potengi e (4) AALTO. A seleção dos objetos arquitetônicos deu-se com base na disponibilidade pública de seus portfólios (tanto nos sites dos arquitetos, quanto nos das construtoras), os quais oferecem subsídios para a

análise das formas de representação desses exemplares de arquitetura vertical contemporânea local.

Resultados e Discussões

1. Inserção urbana e articulação com elementos referenciais do entorno:

Ao comparar os empreendimentos em seus materiais de divulgação à luz deste critério, observa-se a construção de narrativas que convergem na tentativa de transformar a localização, bem como seus elementos referenciais, em argumento mercadológico de grande potencial (Figura 01). Tal estratégia é recorrente no marketing imobiliário de projetos verticais contemporâneos, especialmente quando voltados para um público de perfil socioeconômico elevado, que busca não apenas habitar um lugar, mas também pertencer a um meio urbano de prestígio. Embora distintos em suas abordagens, os edifícios verticais escolhidos para análise compartilham em comum o intuito de qualificar representativamente e de modo simbólico a sua inserção na malha urbana já consolidada de Natal/RN. Percebe-se, dentre as análises, que as peças gráficas, em suma, recorrem a mapas esquemáticos do entorno — em maior ou menor grau de realismo —, à estética controlada das imagens realistas e à seleção estratégica de referenciais da cidade (próximo de centros comerciais, de serviços, etc.) com o objetivo de valorar o edifício como produto central e exclusivo. Essa prática revela uma apresentação do espaço urbano por meio do apelo comercial, onde a localização torna-se suporte de uma identidade projetada para o contexto, reforçando a lógica imobiliária atual à percepção do local. Desse modo, é evidenciada a consolidação de um modelo de representação que confere ao tecido urbano um atributo de valor.

2. Setorização espacial distribuída dos pavimentos tipo:

Considerando a representação como estratégia capaz de agregar valor ao produto imobiliário, é possível avançar para outra dimensão fundamental da linguagem projetual determinada nos objetos arquitetônicos de estudo — a setorização espacial das unidades-padrão multifamiliares das edificações verticais adotadas (Figura 02). Essa lógica visualizada na publicidade de suas apresentações opera como complemento discursivo daquilo que se projeta, sejam estilos de vida, valores familiares e, principalmente, modos de habitar. No que tange a este aspecto, verifica-se que se mantêm nas tipologias analisadas, uma estrutura funcional baseada na tripartição entre os setores social, íntimo e de serviço, ainda que articulada com soluções espaciais contemporâneas, que tensionam esse modelo tradicional de setorização, com propostas de maior multifuncionalidade e integração entre os ambientes para convívio social e doméstico, a exemplo de living e áreas gourmet. Essa concepção projetual propõe não apenas uma resposta funcional às novas dinâmicas familiares inseridas nos eixos estruturantes às elites locais de Natal/RN, mas também uma tentativa de expandir o apelo comercial da planta ao oferecer possibilidades de personalização e introdução de novos usos dos ambientes frente às modificações da sociedade nos modelos atuais de morar em apartamentos, como apontado por Villa (2020).

3. Estratégias de humanização nas representações gráficas:

Ainda que as plantas dos edifícios revelem, com clareza, os arranjos funcionais incorporados à lógica espacial dos apartamentos, são nas estratégias de representação visual, principalmente as imagens que compõem os materiais publicitários, que se vislumbra estilos de vida e valores culturais associados ao morar contemporâneo. É precisamente nesse campo que os projetos são estetizados e ilustrados de modo a determinar uma aproximação entre o produto imobiliário e o consumidor (Figura 03). Quanto a esta percepção, é evidenciada uma ausência parcial das figuras humanas nas peças avaliadas, expressando uma tendência recorrente do marketing imobiliário em que o foco é transferido da experiência habitada para a valorização do objeto arquitetônico em si. Essa falta de corpos no espaço é recompensada, ainda que de forma genérica em um caso (4), com a tentativa de ilustrar personificações em ambientações correlacionadas às do projeto, que possam atender às expectativas de identificação e os desejos dos seus clientes potenciais.

4. Linguagem comunicacional e recursos discursivos voltados à persuasão:

Em face das representações analisadas, passa-se à interpretação da linguagem comunicacional e dos recursos discursivos mobilizados nos materiais de divulgação, nos quais slogans e expressões de impacto são empregados como instrumentos de persuasão capazes de reforçar a atratividade simbólica dos empreendimentos. Nessa abordagem, observa-se como os projetos não apenas descrevem atributos físicos ou de localização, mas traçam perspectivas sociais, utilizando a linguagem como meio de configurar, discursivamente, a experiência de “morar nas alturas”. Ao alinhar os projetos aos valores que consolidam símbolos de status, evidencia-se um direcionamento deliberado às camadas socioeconômicas mais elevadas, o qual se articula com uma prática recorrente de padronização no setor imobiliário: materializada por meio de enunciados publicitários que enaltecem a imponência estética, a originalidade nos pormenores construtivos, a promessa de um estilo de vida ancorado em elevados parâmetros de bem-estar e a conveniência de uma localização estratégica na cidade. Dessa forma, o discurso publicitário veiculado aos projetos analisados não se limitam à comunicação de atributos objetivos da edificação, mas, ao contrário, delineia uma narrativa persuasiva — um storytelling —, cuja função principal é a de inscrever o edifício como um produto de mercado direcionado, nos casos estudados, à elite natalense.

Conclusão

Diante das análises empreendidas, cuja finalidade consistiu em examinar, a partir de um olhar crítico, as apresentações de projetos em Natal/RN — tomando como base os materiais de divulgação elaborados por escritórios de arquitetura com forte inserção no mercado local —, foi possível constatar que tais peças tendem a reforçar um padrão recorrente de venda da arquitetura vertical, ainda que, por vezes, integrem distintas estratégias em suas representações. Verifica-se, assim, uma homogeneidade da comunicação visual imobiliária na forma de apresentar, adaptada às demandas contemporâneas, e com variações mínimas

entre os materiais publicitários, a partir dos parâmetros avaliados e pontuados na metodologia da pesquisa. Ao evidenciar que essa produção potiguar se alinha, em grande medida, às lógicas projetuais e mercadológicas observadas em outros centros urbanos do país — especialmente no que tange à valorização do morar em apartamentos e à recorrência publicitária voltada à distinção social —, esta pesquisa contribui para o entendimento de como práticas mercadológicas vêm sendo reproduzidas em contextos ligados à verticalização. Tal constatação, por sua vez, abre margem para investigações futuras que examinem, sob viés comparativo, as configurações de empreendimentos voltados a grupos sociais de menor poder aquisitivo, bem como as suas implicações na paisagem urbana contemporânea local.

Referências

- ALVES, M.C.D. Publicidade imobiliária e suas construções retóricas. In: Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação, 32., Curitiba. **Anais**...Curitiba, 2020. Disponível em: <http://www.intercom.org.br/papers/nacionais/2009/resumos/r4-1304-1.pdf>. Acesso em 30 jun. 2025.
- CHAGASTELLES, G. **O Rio de Janeiro arranha os céus: a verticalização da metrópole entre pragmatismo e fantasia da arquitetura déco de 1928 a 1943**. Rio de Janeiro: Multifoco, 2022.
- FLORIO, W.; GALLO, H.; SANT'ANNA, S.; MAGALHÃES, F. **Projeto Residencial Moderno e Contemporâneo: análise gráfica dos princípios de forma, ordem e espaço de exemplares da produção arquitetônica residencial**. Vol. I e II. São Paulo: Editora MackPesquisa, 2002.
- QUEIROZ, T.A.N., COSTA, A.,A. As pesquisas sobre as verticalizações das cidades: breve histórico e dimensões de análise. **Sociedade e território**. Natal, n.29, v.1, p.31-49,2017.
- QUEIROZ, L.A.P. C. Incorporações imobiliárias: ciclos, financeirização e dinâmica espacial em Natal/ RN. **Tese** (Doutorado em Desenvolvimento Urbano). Programa de pós-graduação em desenvolvimento urbano (MDU). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012.
- MEDEIROS, R., TRAJANO, M. Edifícios verticais em Natal/ RN: processos e projetos contemporâneos a partir da ótica profissional. In: XI PROJETAR, 2023, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa: UFPB, 2023.
- SERAPIÃO, F. **Novo Morar Urbano**. São Paulo: Monolito, 2021.
- SOMEKH, N. A cidade vertical e o urbanismo modernizador: São Paulo (1920-1939). **Tese** (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-20092022-111307/pt-br.php>. Acesso em 20 abr. 2025.

TAGLIARI FLORIO, A. M. Os princípios orgânicos na obra de Frank Lloyd Wright: uma abordagem gráfica de exemplares residenciais. 2008. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura – Artes) – Instituto de Artes, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

VALENÇA, M.; BRUSTOLIN, A.; DOMBROSKI, J. Arquitetura Contemporânea em Natal: acaso ou intenção? In: VALENÇA, M.M., PAIVA, R.A. **Arquiteturas Contemporâneas**. Natal: EDUFRN, 2024.

VARGAS, H; ARAUJO, C. **Arquitetura e mercado imobiliário**. São Paulo: Editora Manole, 2013.

VILLA, S. **Morar em apartamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

Anexos



Figura 01



Figura 02



Figura 03

CÓDIGO: HS1420

AUTOR: VANESSA INGRID DE OLIVEIRA MORAIS

ORIENTADOR: MARIA DULCE PICANÇO BENTES SOBRINHA

TÍTULO: Investigação sobre os Conflitos Fundiários no Rio Grande do Norte: mapeamento de ocorrências, normativos e atores, em comunidades urbanas, rurais, povos e comunidades tradicionais.

Resumo

A pesquisa possui a temática dos despejos e conflitos fundiários pelo estado do Rio Grande do Norte, que foram agravadas após a pandemia da COVID-19. Inserida no âmbito da Campanha Despejo Zero, a pesquisa articula-se com movimentos sociais, entidades acadêmicas e mandatos populares, visando o monitoramento dos conflitos e a sistematização desses casos. Como procedimento metodológico, foi realizado o levantamento bibliográfico e a produção gráfica desses dados, com o uso do software QGIS. Como resultados, verificou-se que o estado ocupa o 6º lugar entre os estados nordestinos, em casos de despejos, com a notificação de 1.391 famílias ameaçadas e 729 famílias efetivamente removidas, no período de 2020 a 2023. Além disso, foram identificados e monitorados 30 conflitos fundiários urbanos em 2023, representando um aumento de 75% comparado ao ano anterior. Entre os estudos de casos analisados, destaca-se os episódios envolvendo as Áreas Especiais de Interesse Social (AEIS) de Natal, vinculadas a conflitos de interesse imobiliário e turístico. Em conclusão, pode-se verificar uma escalada dos despejos e violação do direito à moradia e à dignidade humana. Assim, a pesquisa tem como caráter reforçar a ação articulada dos órgãos competentes com o fortalecimento das políticas públicas na gestão da terra urbana e rural.

Palavras-chave: Planejamento territorial, comunidades rurais, comunidades tradicionais

TITLE: Research on Land Conflicts in Rio Grande do Norte: mapping of occurrences, regulations and actors, in urban and rural communities, peoples and traditional communities.

Abstract

The research focuses on evictions and land conflicts in the state of Rio Grande do Norte, which have worsened following the COVID-19 pandemic. As part of the Zero Evictions Campaign, the research works with social movements, academic entities, and grassroots organizations to monitor and systematize these conflicts. The methodological approach involved a bibliographic survey and graphical production of this data using QGIS software. The results showed that the state ranks 6th among Northeastern states in evictions, with 1,391 families reported threatened and 729 families effectively removed from 2020 to 2023. Furthermore, 30 urban land conflicts were identified and monitored in 2023, representing a 75% increase compared to the previous year. Among the case studies analyzed, episodes involving Natal's Special Areas of Social Interest (AEIS) stand out, linked to conflicts of interest in real estate and tourism. In conclusion, we observed an escalation in evictions and violations of the right to housing and human dignity. Thus, the research aims to reinforce the coordinated action of the competent agencies to strengthen public policies in urban and rural land management.

Keywords: Territorial planning, rural communities, traditional communities.

Introdução

O tema dos Conflitos Fundiários se define na presente pesquisa, face o expressivo crescimento do número de famílias removidas ou sob ameaça de despejo em todo Brasil. A fragilidade das políticas públicas, notadamente a de habitação social, nos últimos anos, combinada com a perspectiva privatista da terra em contraposição aos princípios da sua função social, tem contribuído para diversos processos de despejos e expropriações no campo e nas cidades.

A partir de 2020, a Pandemia da COVID impôs novos e graves desafios às populações em situação de vulnerabilidade social. A necessidade do isolamento social para quem sofria processo de despejo, e principalmente para quem já se encontrava em situação de rua, evidenciou a urgência de ações protetivas por parte do Estado e da sociedade. Naquele momento, no campo institucional, verificava-se o processo de desmonte das políticas públicas, a exemplo das extinções do Ministério das Cidades e respectivo Conselho, no campo da política urbana e habitacional. Face ao agravamento das ações de despejo e dos processos da pandemia, os movimentos sociais atuantes no campo dos direitos humanos, e principalmente em luta pelo direito à moradia adequada, lançaram a Campanha Despejo Zero. Em defesa da vida no campo e na cidade.

Essa Campanha, articulada a nível nacional e internacional, estimulou as ações de monitoramento dos casos de despejos, além de buscar a incidência no âmbito da gestão pública, visando a reparação de direitos violados. É nesse contexto que a presente pesquisa se insere. A equipe proponente atuou inicialmente em ações extensionistas, por meio do Núcleo Urbano do Projeto Motyrum de Educação Popular em Direitos Humanos, sendo facilitadora do lançamento da Campanha Despejo Zero no Rio Grande do Norte, em outubro de 2020. A partir de então, deu-se início ao monitoramento dos casos de

despejos no RN, em articulação com a campanha nacional, os movimentos sociais e o sistema de defesa, principalmente a Defensoria Pública e o Ministério Público, no RN.

Nessa perspectiva, no período 2021-2022 desenvolveu-se a pesquisa Panorama dos Conflitos Fundiários no Rio Grande do Norte no contexto da Covid 19: Contribuição ao Sistema de Defesa do Direito à Moradia Adequada, junto à PROESQ/UFRN, sendo renovado no período 2022-2023. Em junho de 2022, articulada com ações extensionistas, a pesquisa contribuiu junto à Campanha Despejo Zero para a realização da Missão Denúncia. Violação de Direitos Humanos e Despejos no Brasil, na realização em Natal e região litorânea. Para o período 2023-2024, verificou-se a necessidade de continuidade do processo de pesquisa sob o tema Conflitos Fundiários, porém, a partir de uma nova formulação, considerando: (i) A mudanças verificadas no quadro da Pandemia da COVID 19, com destaque para a retomada das atividades presenciais, (ii) O contexto político na esfera do Governo Federal, a partir de 2023, que aponta para a reconstrução da agenda de políticas públicas no país.

Nessa perspectiva, a presente pesquisa intitulada Conflitos Fundiários no Rio Grande do Norte: mapeamento de ocorrências, normativos, atores e territórios questiona como se configuram os conflitos fundiários no Rio Grande do Norte, tanto em termos quantitativos, quanto em relação às suas modalidades, marco legal, atores e territórios envolvidos. Admite-se a hipótese que segue havendo um crescimento expressivo dos casos de despejos no Rio Grande do Norte, abrangendo diversos grupos sociais, modalidades de ação de atores e diversidade territorial, com evidente violação de direitos humanos, principalmente quanto ao direito à moradia adequada. O objeto de estudo é delimitado pelos conflitos fundiários relacionados às ocorrências, normativos, atores e territórios. O Objetivo central é visibilizar os casos de despejos no Rio Grande do Norte (RN), visando fortalecer ações de incidência para reparação dos processos de violação de direitos humanos, notadamente o direito à moradia adequada.

Metodologia

O universo da pesquisa foi o estado do Rio Grande do Norte, localizado na região Nordeste do Brasil. De acordo com o IBGE (2022), o estado possui uma área territorial de 52.890,599 km² e uma população estimada de 3.302.729 habitantes. O clima predominante é quente e seco, embora apresente uma diversidade de climas em seu território. A vegetação característica é a do bioma caatinga, com alguns resquícios de mata atlântica no litoral. Além disso, o estado possui um extenso litoral, sendo este dividido em duas orientações: o leste e o setentrional.

Como técnicas de pesquisa, foram utilizados o levantamento de dados bibliográficos e documental, com base nos indicadores de monitoramento desenvolvidos pela Campanha Despejo Zero e pela pesquisa em rede Panorama dos Conflitos Fundiários no Brasil, coordenada pelo Fórum Nacional de Reforma Urbana. Também foi realizada a coleta de bases informacionais, mediante a análise de documentos disponibilizados pela Defensoria Pública do Rio Grande do Norte, visando conhecer a realidade dos conflitos fundiários no Rio Grande do Norte. Ademais, foram produzidos mapas com o auxílio do software QGIS, visando espacializar e compreender melhor o cenário desses conflitos.

Resultados e Discussões

Quanto ao cenário norte-rio-grandense, verificou-se que o estado ocupa o 6º lugar entre os estados nordestinos, em casos de despejos, com a notificação de 1.391 famílias ameaçadas e 729 famílias efetivamente removidas, segundo o Programa Nacional Despejo Zero, no período de 2020 a 2023. Com relação aos conflitos fundiários urbanos, foram identificados e monitorados 30 conflitos em 2023, representando um aumento de 75% comparado ao ano anterior. Segundo a Rede Nordeste coordenada pelo do IBDU-Instituto Brasileiro de Direito Urbanístico, tal resultado advém de um efeito reverso com relação a instalação das Comissões de Conflitos Fundiários, sendo considerado como uma “covid longa dos despejos”.

Figura 1: Gráfico do panorama dos conflitos fundiários urbanos no RN.

Fonte: Produzido pelos autores (2025).

Numa retrospectiva de 2021 a 2023, o estado apresentou 16 casos (2021), correspondendo a 1.737 famílias, distribuídos em 5 municípios, sendo destes, 12 ocorrências na capital Natal. Em 2022 foram monitorados 17 casos, distribuídos entre os seguintes os municípios e territórios: Natal (13) - apresentando um caso a mais do que no ano anterior-, Parnamirim (1), Pedra Grande (1), Areia Branca (1) e Baía Formosa (1), como ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Espacialização dos conflitos fundiários urbanos monitorados no RN, em 2023.

Fonte: Autoria própria (2025).

Além dos casos destacados anteriormente, a Rede Nordeste também monitorou os casos envolvendo as Áreas de Interesse Social (AEIS) em Natal, destacando as comunidades de Brasília Teimosa, Mãe Luiza e Jacó-Rua do motor (Rede Nordeste, 2024). O relatório ainda aponta que, à luz da revisão do Plano Diretor, os conflitos nas AEIS foram intensificados, como também sobre os territórios pesqueiros e a especulação imobiliária.

Dentre as ações promovidas para o debate sobre os conflitos fundiários e as ações de ameaças de despejos, destacam-se o contato direto com a população em questão, a realização de uma audiência pública, que contou com a participação de líderes dos movimentos sociais, poder judiciário e instituições públicas. Nesta audiência foram apresentadas políticas estaduais de prevenção de despejo, a realidade dos conflitos e a criação do Fórum de Prevenção e Mediação de Conflitos Fundiários, sendo estas medidas solicitadas pela Missão-denúncia (Rede Nordeste, 2024).

No cenário natalense, destacam-se outras ações, como o Tribunal da Orla”, promovido pelo coletivo Salve Natal, visando discutir os episódios de violação socioambiental de comunidades e grupos localizados no litoral da cidade, em detrimento das obras em construção na orla, a exemplo da engorda da praia de Ponta Negra. O momento foi marcado por escutas, denúncias, debates e teve como finalidade a produção de uma carta-

denúncia, que foi levada posteriormente ao poder judiciário, legislativo, executivo e a organizações internacionais, visando reconhecer este cenário nacionalmente e internacionalmente. Além do caso da engorda da orla de Ponta Negra, foram pontos de discussão a construção do Complexo Turístico da praia da Redinha e o processo de verticalização da Praia do Meio, sendo obras que foram e são acompanhadas de perto pela Rede Nordeste, em detrimento dos riscos que as comunidades locais sofrem (Rede Nordeste, 2024).

Outro conflito acompanhado foi a remoção dos quiosques da praia da Redinha, que após muitos conflitos foi levado a pauta para Comissão de Direitos Humanos da Câmara Municipal de Natal, destacando os impactos socioambientais, econômicos, culturais e as violações envolvidas no processo. Como resposta do movimento, foi promovida uma audiência pública de caráter urgente, na qual se debateu as condições e impactos sobre os quiosqueiros, pescadores e ambulantes da praia. Como proposição, solicitou-se à prefeitura que destinasse parte do orçamento da obra de reestruturação urbana para a construção dos novos quiosques.

Os acompanhamentos da rede não dizem respeito somente aos casos de remoções, mas também à permanência de grupos em lugares ocupados por meio de lutas, como o caso da ocupação Emmanuel Bezerra (Rede Nordeste, 2024). Em 2023, o prédio alugado pela prefeitura sofreu com inundações advindas das fortes chuvas na cidade, o que evidenciou a fragilidade da infraestrutura do local, a qual deixou o grupo em uma vulnerabilidade, impossibilitando a sua permanência em tal edificação. Esta situação foi debatida em um encontro promovido com a Movimentação da Campanha Despejo Zero pela Rede Nordeste com as organizações do Movimento de Luta nos Bairros, Vilas e Favelas (MLB), Movimento Nacional da População em Situação de Rua (MNPR) e contando com a presença dos mandatos populares dos vereadores Daniel Valença e Brisa Bracchi (Rede Nordeste, 2024).

Do somatório destes conflitos, foram monitorados pela Rede 30 conflitos distribuídos pelo estado, sendo 1.602 famílias atingidas e dispostas em 7 municípios diferentes: Areia Branca, Baía Formosa, Macau, Mossoró, Natal, Parnamirim, Pedra Grande e São Gonçalo do Amarante.

Figura 3: Quadro síntese com os nomes dos municípios e o número de casos de conflitos.

Fonte: Produzido pelos autores (2025).

Figura 4:Espacialização dos conflitos fundiários urbanos monitorados no RN, de 2021 a 2023.

Fonte: Autoria própria (2025).

Dentre os desdobramentos, destaca-se a criação da Comissão Regional de Conflitos Fundiários do Tribunal de Justiça da 5ª Região do Rio Grande do Norte (CCF-TJRN), por meio da portaria 1.031, de 18 de agosto de 2023, em seguimento à Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental (ADPF) nº 828/DF e o teor da Resolução nº 510, de 26 de junho de 2023, do Conselho Nacional de Justiça (CNJ), na qual criou e regulamentou as comissões de soluções fundiárias. Foram promovidos cursos de

capacitação de mediação e conciliação, destacando as ocorrências dos conflitos e suas particularidades.

Sobre a procedência dos casos, estes se encontram em sigilo pela Secretaria de Gestão Estratégica (SGE). Os dados e processos que podem ser monitorados, encontram-se nas 19a e 20a varas cíveis de Natal, bem como na de Macau e João Câmara (Rede Nordeste, 2024).

O RN também criou, no âmbito de 2022, o Comitê Estadual de Resolução de Conflitos Fundiários Urbanos (CERCFU), que foi criado a partir do Conselho Nacional de Direitos Humanos (CNDH), onde ficou determinado que os estados deveriam ter comitês abordando e discutindo os conflitos fundiários tanto na esfera urbana quanto rural (Rede Nordeste, 2024). Entretanto, após alguns dias da sua composição, representantes da sociedade civil e entidades diversas, tiveram um encontro com a governadora, Fátima Bezerra, onde desde então foi destituído o comitê e novas eleições não foram realizadas.

Sobre o debate sobre as Áreas Especiais de Interesse Social (AEIS) na cidade de Natal, especialmente sobre a perspectiva dos despejos e saídas forçadas, revelando uma escala de conflitos na área litorânea, que refletem os dilemas com a especulação imobiliária e pelos interesses turísticos. No caso de Natal, as AEIS são delimitadas pelo Plano Diretor, na qual no seu processo histórico, é alvo de disputas territoriais.

No processo de revisão do Plano Diretor, cujas discussões iniciaram em 2017, verificou-se maior pressão sobre as AEIS, com subtração de áreas conforme visto na AEIS Brasília Teimosa.

Para uma melhor compreensão, são vistos a seguir estudos de casos, envolvendo comunidades, AEIS e ocupações, buscando compreender o cenário desses conflitos no RN.

ENXU QUEIMADO

Localizada em Pedra Grande, Enxu Queimado é uma comunidade pesqueira, que teve a apropriação e regularização de suas terras por meio de uma decisão do Tribunal de Justiça do Estado (TJRN). Em 2020, após anos de luta e incertezas contra a Teixeira Onze Incorporações, a decisão judicial definiu a posse das terras para a comunidade de Enxu Queimado, garantindo uma segurança para a comunidade. Tal conquista representou um alívio para 554 famílias residentes, em uma comunidade com uma história centenária e com uma estimativa de 2400 moradores, em sua maioria residindo na zona rural. O processo de regularização foi marcado pela pandemia da Covid-19 e por vendas de terra de maneira ilegal por pessoas externas da comunidades, sem consultar os moradores locais (Rede Nordeste, 2024).

OCUPAÇÃO EMMANUEL TEIXEIRA

A ocupação Emmanuel Bezerra é um exemplo onde os próprios envolvidos decidiram mudar suas condições de vida, optando por realocar-se em um novo espaço. Assim, cerca de 60 famílias decidiram deixar o galpão em condições precárias cedido pela Prefeitura do Natal e se transferiram para uma outra instalação na cidade. Um dos grandes problemas

identificados neste caso, foi a falta de diálogo dos órgãos públicos com os moradores (Rede Nordeste, 2024).

Desse modo, o MLB impulsionou a nova ocupação, assumindo a condução da realocação, que recebeu como primeira resposta da prefeitura a concessão do aluguel social. Contudo, esta medida não contemplava todas as famílias e não correspondia à política habitacional, mas sim uma política assistencial do município (Rede Nordeste, 2024). Em 2023, novas discussões sobre a ocupação Emmanuel Bezerra foram levantadas, sendo debatidas pela Prefeitura e o Governo Estadual. No início de 2024, as próprias pessoas fizeram sua realocação para um terreno no bairro de Petrópolis, em Natal, após inúmeros impasses e desacordos entre as entidades públicas (Rede Nordeste, 2024). Um desses empasses diz respeito às negociações do governo estadual com o governo federal para a obtenção de recursos destinados à construção de um conjunto habitacional e o diálogo sobre a definição de um novo lugar para essas famílias, o que, até o momento, não obteve êxito.

AEIS JACÓ - RUA DO MOTOR

A comunidade do Jacó, localizada no bairro das Rocas, é definida como umas das AEIS do município de Natal. Com um histórico de conflitos iniciado em 2018, a tensão começou envolvendo o trecho limítrofe da comunidade e os riscos associados à encosta, segundo alegações da Prefeitura.

Na ocasião, a municipalidade buscou reassentar 50 famílias para o Residencial Village de Prata, programa Minha Casa Minha Vida (MCMV). Contudo, 26 famílias se opuseram à realocação, devido ao apego ao lugar, às relações construídas ao longo dos anos, a proximidade com a praia e os locais de trabalho. A partir de uma ação judicial, essas famílias passaram a receber aluguel social, tendo suas casas interditadas pela municipalidade. Entre 2022 e 2023, os moradores relataram dificuldades em relação aos atrasos no pagamento do aluguel social e com os âmbitos burocráticos, o que intensificou o conflito no Jacó (Rede Nordeste, 2024).

Em 2024, a comunidade foi contemplada pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), a partir do Projeto de Urbanização desenvolvido em 2018 como trabalho final de graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A proposta contou com a participação popular e com o apoio do Projeto Motyrum Urbano. O Projeto foi atualizado em 2023 para submissão pela SEHARPE. Na atualidade o referido Programa encontra-se em fase de elaboração de anteprojetos, contando com equipe da UFRN como Entidade de Assessoria Técnica.

OUTRAS TIPOLOGIAS DE CONFLITOS FUNDIÁRIOS

Outro caso que merece destaque é a situação dos atingidos pelas energias renováveis no estado, que tem ganhado novos desdobramentos e conflitos, seja na escolha dos terrenos, na implantação ou no funcionamento desses empreendimentos. Em 2023 foi realizado o Seminário “Vozes dos territórios por uma transição energética justa e popular”, que reuniu principalmente populações afetadas e representantes da sociedade civil para discutir e debater o avanço das eólicas pelos territórios do RN. Outra iniciativa que

marcou essas discussões foram as oficinas do “Mulheres Construindo Jornadas de Luta pela Defesa dos Mares e Rios do RN I e II (MUDEM).

Conclusão

A pesquisa aqui relatada aprofundou os estudos sobre os conflitos fundiários no estado do Rio Grande do Norte, na perspectiva da pesquisa anterior, que continha a mesma temática e título. Observou-se que muito dessa trajetória já um prolongamento de anos de conflitos, refletidos nas políticas fundiárias conquistadas recentemente e sobre como assegurar o direito à terra, à moradia e aos grupos historicamente vulneráveis. Mesmo diante de um crescente avanço no campo normativo e legislativo, como a criação do Comitê Estadual de Resolução de Conflitos Fundiários Urbano, ainda é latente a grande escalada que as disputas territoriais ocorrem, sejam no espaço urbano ou rural, atingindo povos e comunidades tradicionais.

Os dados apresentados demonstraram que os casos de despejos e remoções forçadas aumentaram no intervalo de 2021 a 2023, evidenciando o impacto das decisões políticas, econômicas, urbanísticas e sociais relacionados à gestão da terra urbana. No caso de Natal, após a revisão do Plano Diretor e os projetos urbanísticos que lhe sucederam como a engorda da praia de Ponta de Negra e o Complexo turístico da Redinha, são exemplos de como a escalada dos conflitos vem se intensificando e atingindo as comunidades costeiras da cidade.

Nesse contexto, se faz necessário a ação articulada dos órgãos competentes com o fortalecimento das políticas públicas na gestão da terra urbana.

Referências

ALFONSIN, Betânia de Moraes et al. **DA NOVA LEI DE REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA À EXTINÇÃO DO MINISTÉRIO DAS CIDADES um continuum de derrotas para o direito à cidade no Brasil**. In: Cardoso, Adauto L. e D'Ottaviano, Camila. *Habitação e Direito à Cidade desafios para as metrópoles em tempos de crise*. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrópoles, 2021. Disponível em <https://www.observatoriodasmetrolopes.net.br/habitacao-autogestao-e-cidade>. Acesso em 11 ago. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **CENSO 2022**. IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938&t=resultados>. Acesso em: 20 ago. 2025.

Remoções forçadas no Nordeste (livro eletrônico): **conflitos fundiários urbanos, alterações legislativas, gestão de patrimônio e incidência na Bahia, no Ceará, em Pernambuco e no Rio Grande do Norte no ano de 2023**. Antonio Celestino da Silva Neto et al.; Organizador Gilson Santiago Macedo Júnior.-- 1. ed. – São Paulo: Instituto Brasileiro de Direito Urbanístico - IBDU, 2024. PDF

Anexos



Figura 1: Gráfico do panorama dos conflitos fundiários urbanos no RN.



Figura 2: Espacialização dos conflitos fundiários urbanos monitorados no RN, em 2023.



Figura 3: Quadro síntese com os nomes dos municípios e o número de casos de conflitos.



Figura 4: Espacialização dos conflitos fundiários urbanos monitorados no RN, de 2021 a 2023.

CÓDIGO: HS1450

AUTOR: ANA CAROLINA DOS SANTOS GARABITO

COAUTOR: BIANCA CARLA DANTAS DE ARAUJO

ORIENTADOR: MARINA MEDEIROS CORTES

TÍTULO: Estudo bioclimático de praças históricas de Natal-RN: Praça Sete de Setembro e André de Albuquerque

Resumo

O estudo investiga a relação entre a configuração urbana e os microclimas locais, com foco nas praças Sete de Setembro e André de Albuquerque, situadas no bairro Cidade Alta, no Centro Histórico de Natal/RN. A pesquisa integra a análise bioclimática à caracterização morfológica do espaço urbano, considerando aspectos como topografia, uso e recobrimento do solo, gabarito das edificações, arborização e ventilação. Para isso, foram utilizados levantamentos in loco, imagens de satélite e a metodologia de Katzschner (1997), que avalia o conforto térmico em espaços abertos, complementada pela abordagem de Oliveira (1993) sobre atributos bioclimatizantes. Os resultados indicam que as praças desempenham papel essencial na regulação térmica, promovendo áreas de resfriamento e maior conforto ambiental, enquanto o entorno apresenta baixa arborização, predominância de recobrimento impermeável e barreiras à ventilação, fatores que contribuem para desconforto térmico. Conclui-se que o planejamento urbano deve integrar parâmetros bioclimáticos, e que a preservação e requalificação dos espaços públicos históricos, como proposta pelo PAC Cidades Históricas, são fundamentais para melhorar a qualidade ambiental e a apropriação social da Cidade Alta.

Palavras-chave: urbano, microclimas, análise bioclimática, conforto, praça histórica

TITLE: Bioclimatic study of historic squares in Natal, Rio Grande do Norte: Sete de Setembro square and André de Albuquerque square

Abstract

The study investigates the relationship between urban configuration and local microclimates, focusing on Sete de Setembro and André de Albuquerque squares, located in the Cidade Alta neighborhood, in the Historic Center of Natal/RN. The

research integrates bioclimatic analysis with the morphological characterization of urban space, considering aspects such as topography, land use and cover, building height, tree cover, and ventilation. To this end, on-site surveys, satellite images, and Katzschner's (1997) methodology were used to assess thermal comfort in open spaces, complemented by Oliveira's (1993) approach to bioclimatic attributes. The results indicate that squares play an essential role in thermal regulation, promoting areas of cooling and greater environmental comfort, while the surrounding area has low tree cover, a predominance of impermeable cover, and barriers to ventilation, factors that contribute to thermal discomfort. It is concluded that urban planning should integrate bioclimatic parameters, and the preservation and requalification of historic public spaces, as proposed by PAC Cidades Históricas, are fundamental to improving the environmental quality and social appropriation of Cidade Alta.

Keywords: urban, microclimates, bioclimatic analysis, comfort, Historic Square

Introdução

Este trabalho está vinculado à pesquisa intitulada “Palimpsesto: O redesenho da Paisagem e as Intervenções do PAC Cidades Históricas no Centro de Natal (RN)”, que aborda os espaços livres e públicos do Centro Histórico de Natal, após as intervenções realizadas pelas obras financiadas pelo PAC Cidades Históricas. A cidade de Natal, foi uma das 44 cidades brasileiras contempladas com obras de restauração e reabilitação em praças e edifícios históricos, através do PAC Cidades Históricas (PREFEITURA DO NATAL, 2013), idealizado em 2013, destinado exclusivamente aos sítios históricos urbanos protegidos pelo IPHAN (PORTAL IPHAN, 2014). Essa grande pesquisa tem como objetivo “investigar obras de reabilitação, requalificação e restauração de edifícios e espaços públicos urbanos, objetivando analisar os projetos, o resultado das obras que já foram concluídas e os possíveis impactos causados na ambiência e na paisagem do Centro Histórico de Natal.

As praças se configuram como áreas de grande importância na preservação da vegetação urbana. De acordo com Oliveira (1993), a função das áreas verdes dentro da estrutura urbana, do ponto de vista bioclimático, pode ser: a de ajudar no controle das temperaturas urbanas; aumentar a umidificação do ar; direcionar os ventos adequadamente; distribuir o brilho energético; criar zonas abrigadas – mais frescas no verão e mais quentes no inverno (Mille – Chagas, P.; Paul, P., 1980); e captar a poluição aérea. Lombardo (1985, p. 2014), confirmando também outras pesquisas, mostrou que “nas regiões com maior concentração de espaços livres, com vegetação e nas proximidades ou junto aos reservatórios d’água, as temperaturas sofrem declínios acentuados”. Além do sombreamento das superfícies, auxiliando no controle da radiação solar, a vegetação contribui de forma significativa ao estabelecimento dos microclimas, “o próprio processo de fotossíntese auxilia na umidificação do ar através do vapor d’água que libera” (Romero, 2000, p.12).

De acordo com Katzschner (2004), a qualidade dos espaços abertos, ou seja, do espaço urbano, contribui para a melhoria de vida nas cidades. Portanto, existe um grande interesse público em criar espaços urbanos atrativos. Entre diferentes fatores (como por exemplo, o conforto visual e auditivo e o sócio ambiental) o conforto térmico é um ponto importante. A qualidade urbana é influenciada pelas condições microclimáticas oferecidas aos habitantes, enquanto o microclima, tanto quanto a sensação térmica, têm uma forte inter-relação com o desenho urbano.

A inclusão das análises bioclimáticas nessa pesquisa das praças históricas reafirma o seu caráter multidisciplinar e traz a discussão de um aspecto tão importante para a nossa sociedade, na medida em que se busca o diagnóstico e também a preservação da qualidade ambiental dos espaços urbanos. Com isso, a pesquisa proporcionará que tanto a comunidade acadêmica quanto a sociedade conheçam o impacto desses novos projetos das praças do Centro Histórico de Natal/RN, em relação aos aspectos de conforto térmico e a percepção dos usuários.

Dessa forma, o objetivo do trabalho é realizar uma análise bioclimática em uma fração urbana, considerando as praças Sete de Setembro e André de Albuquerque, através da descrição qualitativa da configuração urbana, identificando elementos da forma urbana que influenciam nos parâmetros de conforto em clima quente e úmido.

Metodologia

Características da área de estudo

A fim de compreender a área de estudo, é importante conhecer a poligonal de tombamento da cidade do Natal-RN e do seu entorno, delimitada pelo IPHAN (Figura 2, em anexo). As praças Sete de Setembro e André de Albuquerque estão localizadas no bairro Cidade Alta (Figura 1, em anexo).

A praça André de Albuquerque é o marco zero e o mais antigo logradouro público de Natal-RN. Alguns de seus nomes iniciais eram Largo da Matriz, pela localização próxima à Igreja Matriz Nossa Senhora da Apresentação ou também referida como “Rua Grande”. Apenas recebeu o nome atual em 1888, em homenagem a André de Albuquerque Maranhão, mártir da Revolução Pernambucana de 1817.

A praça, assim como a Sete de Setembro, como mostrado na figura 2, está situada na poligonal de tombamento da cidade e possui uma grande importância histórica, uma vez que já foi palco de inúmeros eventos religiosos e políticos. Nela foi celebrada a primeira missa da cidade, em 25 de dezembro de 1599, o que é considerado um marco de fundação da capital, e também já foi palco de várias mobilizações.

Sendo um espaço urbano ocupado por diversos anos, a praça também já passou por várias tentativas e discussões a respeito de intervenções ao longo dos anos, alguns relatos que remontam desde o século XIX (NESI, 2020, p.17).

Atualmente, a praça participa do programa de requalificação de praças do Centro histórico de Natal, e o projeto já teve sua ordem de serviço aprovada pela governadora Fátima Bezerra (ASSECON-RN, 2024).

Em relação à Praça Sete de Setembro, também chamada de Praça da Independência, ou Praça dos Três Poderes, foi construída após a demolição de um quarteirão da Rua da Conceição, em 1914, para a elaboração de um novo espaço público. A mesma se situa num local de grande importância histórica, no entorno de vários edifícios de valor histórico, na Cidade Alta, e contribui para a valorização e microclima do entorno, que contém vários edifícios de valor institucional e patrimonial.

A área de estudo foi delimitada a partir de um raio de 200m dessas praças, englobando uma área de aproximadamente 125.663,71 m² (Figura 3, em anexo).

A cidade de Natal-RN está integralmente situada na região correspondente à zona bioclimática ZB 5A, conforme estabelecido pela norma ABNT 15220-3/2024 (Figura 4, em anexo). A cidade está situada no litoral oriental do estado, em uma região de baixa latitude (5°45'54" Sul), próxima à linha do Equador. O clima da cidade é estável, com temperaturas quentes e alta umidade do ar durante todo o ano. A radiação solar é intensa, e a variação de temperatura, tanto diária quanto sazonal, é pequena. A cidade possui duas estações distintas ao longo do ano: uma de abril a setembro, período de chuvas, e outra de outubro a março, período de seca (ARAÚJO; MARTINS; ARAÚJO, 1998). A perda de calor por evaporação é dificultada pela alta umidade, mas os ventos sudeste amenizam a sensação de calor pela movimentação do ar (Quadro 1, em anexo).

Para a ventilação, a partir das rosas dos ventos de Natal, é possível perceber diferentes padrões de velocidade e direção dos ventos, respectivamente, no dia e noite (figuras 5 e

6). É possível notar que os ventos majoritariamente estão vindo do Sudeste, de dia, com velocidades em torno de 10m/s. No entanto, durante a noite, os ventos tendem a perder intensidade, com velocidades mais baixas e uma mudança sutil na direção predominante para o Sul, às vezes com influência do Sudeste.

Inserido nesse contexto, o bairro de Cidade Alta, devido ao seu caráter histórico e urbano consolidado, apresenta particularidades que merecem destaque e que serão abordados (com enfoque na área de estudo trabalhada). As edificações presentes na região, por exemplo, em sua maioria, foram construídas em épocas anteriores à normatização das diretrizes bioclimáticas de acordo com o tipo de clima do local, o que representa um desafio para a adequação às exigências atuais de conforto térmico.

Procedimentos metodológicos

O método de análise do espaço urbano utilizado nesta pesquisa foi desenvolvido pelo professor Lutz Katzschner (1997), da Universidade de Kassel, na Alemanha. Voltado principalmente para a avaliação climática urbana e o conforto térmico nas cidades, ele se destaca pela abordagem interdisciplinar, integrando conhecimentos de climatologia, arquitetura e planejamento urbano. O método sugere a investigação e avaliação do clima urbano como importante ferramenta de planejamento, sendo uma abordagem que enfatiza a integração de dados climáticos e aspectos biológicos.

O processo do método aplicado por Katzschner (1997), ilustrado na Figura 7, compreende sete etapas – sendo que este trabalho de Iniciação Científica compreende apenas à primeira e segunda etapa do método, servindo de base para uma pesquisa maior que está em andamento. Assim, foram elaborados os mapas de topografia, uso do solo, vegetação, recobrimento do solo e altura das edificações da área de estudo, de forma a identificar as características geo-morfológicas do recorte. Para isso, foram utilizadas imagens de satélite e levantamento in loco, para identificar as características do recorte urbano. A análise qualitativa dos mapas é realizada a partir da superposição dos mesmos, sendo então verificadas as áreas com características comuns e de interesse para o estudo, e como estas se relacionam com o clima e a situação local encontrada.

Resultados e Discussões

A Cidade Alta, por estar localizada em um dos pontos mais elevados da cidade, aproveita com maior eficiência o regime de ventos naturais, pois a sua topografia

favorece a captação dos ventos. No entanto, a presença de construções verticalizadas, ruas estreitas e obstáculos urbanos podem interferir na livre circulação dos ventos, podendo criar zonas de sombreamento ou áreas com pouca ventilação natural.

Em relação ao estudo do Sol, a cidade de Natal está situada nas coordenadas 5° 47' 40" Sul e 35° 12' 40" Oeste, o que a torna bastante próxima da Linha do Equador, isso resulta em uma menor amplitude das mudanças na posição solar ao longo do ano em comparação com localidades mais ao sul ou ao norte do planeta. No entanto, ao observar o gráfico solar da cidade (figura 8), nota-se que essas variações, embora pequenas, não são desprezíveis e podem impactar significativamente o conforto térmico nas edificações.

Mapas Figura-Fundo

Para se entender melhor o desenho urbano e seus impactos bioclimáticos, foram elaborados mapas figura-fundo, que mostram com mais clareza o desenho urbano no entorno das praças históricas André de Albuquerque e Sete de Setembro (Figuras 9, 10 e 11, em anexo).

Ao se analisar as quadras, é possível perceber que existem várias delas de grandes dimensões, com formatos irregulares na área de estudo, o que é uma evidência do crescimento não planejado da região. Já em relação às ruas, há uma distribuição majoritária das vias na direção norte-nordeste/ sul-sudoeste e oeste-noroeste/ leste-sudeste, as quais, por estarem orientadas para as direções dos ventos predominantes, segundo Oliveira (1993), contribuem para a porosidade. Porém, a trama irregular em algumas áreas atuam como obstáculo no conforto térmico da região.

É também perceptível que a área ao Leste em relação às praças apresenta um traçado mais regular, reticulado, em comparação às áreas ao Oeste, em que o desenho urbano tem uma trama e quadras com formato bastante irregulares, com ruas estreitas e casas em sua grande maioria geminadas entre si. Tais condições desfavorecem bastante a ventilação que vem em grande parte do Sudeste e do rio Potengi.

Ao se notar as massas edificadas, existem muitos conjuntos de edificações próximas entre si, formando grandes barreiras de ventilação. Esse padrão se repete por praticamente todo o entorno das praças, que por sua vez contribuem como regiões de “respiro” para tal padrão organizacional.

Mapa de Topografia

Quanto ao relevo e declividade, a área de estudo apresenta uma topografia íngreme (Figura 12, em anexo). Devido a isso, a probabilidade de ocorrência de alagamentos nas vias é relativamente baixa. No entanto, essa mesma característica topográfica favorece o escoamento superficial acelerado das águas pluviais durante períodos de chuvas intensas.

Dentre as regiões mais próximas ao rio Potengi, um dos principais problemas, contraditoriamente ao resto do bairro, é a topografia, em que a parte mais alta fica na região mais ao leste, formando assim, uma barreira de ventilação que dificulta a passagem de vento. Ainda por cima, não há grandes variações de gabarito próximos à praça André de Albuquerque, logo, a rugosidade não é expressiva e a porosidade é limitada pelo traçado irregular das vias e quarteirões, pois o meio urbano funciona como um labirinto para os ventos, sem caminhos ortogonais e óbvios.

Análise de sombreamento

A ferramenta Shademap também ajuda a entender o comportamento solar e de sombreamento na área de estudo. Durante o período da manhã, quando o sol incide a partir do Leste, observa-se a presença de sombreamento em diversas vias e edificações. Nas regiões com maior declive, esse efeito é intensificado, fazendo com que as construções localizadas na porção Leste, situadas em níveis mais elevados, atuem como barreiras à insolação nas áreas mais baixas (Figura 13, em anexo).

Já ao meio dia, devido à baixa presença de arborização, como será visto posteriormente, o Sol incide fortemente sobre as vias e não há muito sombreamento. É possível perceber que as partes mais sombreadas são as praças e canteiros, que têm uma maior quantidade de massa arbórea, isso evidencia a importância desses espaços públicos no conforto bioclimático da região (Figura 14, em anexo).

No período da tarde, durante o poente, os efeitos positivos da topografia observados pela manhã se invertem, resultando em uma maior exposição à radiação solar. Apesar disso, as edificações ainda desempenham um papel importante no sombreamento de determinadas áreas, principalmente nas porções internas das quadras, embora esse efeito seja menos perceptível ao longo das vias públicas (Figura 15, em anexo).

Mapa de uso do solo

Quanto ao uso do solo, percebe-se uma predominância de edificações de uso residencial principalmente ao Oeste e Sudoeste, e a maioria delas não são edificações com características monumentais (Figura 16, em anexo).

Há também expressiva presença de uso institucional espalhadas pela área, essas concentradas ao redor das praças históricas do setor, ao redor da Praça Dom Vital, Casa do Estudante, que apesar de ser institucional, funcionou por anos como residência estudantil e próximo à Praça das Mães.

Já na região mais a leste, que abrange principalmente o centro comercial do bairro Cidade Alta, observa-se um padrão distinto, caracterizado por uma maior diversidade de usos. Predominam os usos mistos e comerciais, além de alguns institucionais. Destaca-se também a significativa presença de vazios edificados, resultantes da quantidade expressiva de construções abandonadas ou atualmente sem utilização. Essa situação pode representar um fator de insegurança urbana, além de indicar um processo gradual de abandono e decadência do centro histórico da cidade.

Mapa de Gabarito

Em relação ao gabarito, observa-se uma baixa presença de verticalização nas áreas mais próximas ao rio, predominando edificações entre 1 a 2 pavimentos, o que caracteriza a área como de pouca rugosidade urbana. Também se identificam construções de dois pavimentos distribuídas por diferentes regiões da subárea, associadas a usos institucionais, comerciais e residenciais (Figura 17, em anexo).

Cabe destacar que, de acordo com o Plano Diretor de 2022, o gabarito máximo permitido para a região é de 7,5 metros, de modo que as edificações que ultrapassam esse limite provavelmente foram construídas antes da vigência do plano ou resultam de intervenções informais.

Em relação à área mais ao leste, é possível notar que o padrão de gabarito varia mais, com uma maior presença de sobrados e até mesmo a presença de algumas edificações com mais de 3 pavimentos, ou até com mais de 6.

Segundo Oliveira (1993), para os climas mais quentes e úmidos, uma rugosidade alta ou muito alta é mais apropriada, pois configura uma maior quantidade de saliências e reentrâncias, as quais irão favorecer maiores diferenças de pressão entre superfícies, parâmetro importante para a ventilação.

Porém, é notório que a rugosidade é pouquíssimo variada nas áreas de uso residencial, o que contribui para a sensação térmica em tais regiões ser bastante desconfortável, principalmente durante o dia.

Mapa de Recobrimento do Solo

Sobre o recobrimento do solo, ao leste, observa-se a predominância de paralelepípedos nas ruas locais. Nas vias coletoras, utiliza-se predominantemente o asfalto, característico de vias com maior fluxo de veículos (Figura 18, em anexo).

Ao que foi possível levantar sobre as quadras, principalmente nas áreas mais comerciais e mistas, a permeabilidade do solo é pouca, sendo uma área composta predominantemente por massas edificadas e calçadas de concreto, além de que a grande maioria das ruas apresentam padrão asfáltico.

É importante considerar que, segundo Oliveira (1993) o tipo de recobrimento é importante na análise bioclimática, uma vez que o nível de permeabilidade do material e sua cor são elementos que influenciam diretamente nas suas propriedades de armazenamento e propagação térmica.

As áreas com muita presença de asfalto são desfavorecidas em relação ao albedo, uma vez que cores mais escuras (albedo baixo) tendem a armazenar mais calor, portanto, irradiando mais energia térmica. Além disso, sua estrutura contínua e impermeável contribuem negativamente para o conforto ambiental, uma vez que contribuem para a retenção térmica no local. Já as áreas com recobrimento predominante em

paralelepípedo são relativamente mais favorecidas, uma vez que apresentam um pouco mais de permeabilidade do solo e um albedo mais alto.

Mapa de áreas verdes

No que se refere à arborização urbana (Figura 19, em anexo), de forma geral, observa-se uma presença restrita de vegetação ao longo das vias, já que poucas contam com canteiros. Essa escassez contribui para uma maior sensação de desconforto térmico durante as caminhadas diurnas. A partir da análise realizada por meio da ferramenta Google Maps e de visitas feitas no bairro, foi possível identificar também a carência de áreas arborizadas dentro de várias quadras, possivelmente relacionada à forma de ocupação dos lotes pelas edificações.

As áreas mais favorecidas são as próximas à praças, uma vez que as mesmas, por apresentarem uma maior massa de áreas verdes, conseguem apresentar um microclima mais agradável em relação aos outros espaços urbanos.

Mapa síntese

Com isso, foi elaborado um mapa síntese (Figura 20, em anexo) com delimitações que representam áreas com características geomorfológicas, bioclimáticas e trama urbana com elementos mais semelhantes entre si. A área destacada pela mancha em roxo são as áreas mais próximas ao rio, é possível identificar um padrão de topografia mais íngreme em relação às outras regiões, além da trama das vias ser mais aleatória e as ruas consideravelmente mais estreitas que o restante. Seu uso é mais marcado pelo residencial, e há pouca presença de elementos arbóreos, sendo sombreada principalmente pelos próprios edifícios. Nas visitas dadas na região, a sensação de abafamento térmico e desconforto em tal região é muito perceptível, principalmente por volta do horário de zênite solar.

O espaço destacado na cor verde é demarcado por, ainda uma trama um tanto aleatória, com várias quadras de formato irregular, porém apresenta uma quantidade significativamente maior de espaços públicos com áreas verdes em relação ao restante das regiões, incluindo as praças André de Albuquerque e Sete de Setembro. Isso melhora significativamente o microclima da região, além de possuir mais edificações de uso institucional, que fogem um pouco do padrão das edificações geminadas.

A área em amarelo apresenta uma quantidade significativa de edificações de uso comercial e misto, além de exibir uma rugosidade mais variada, com gabaritos diversificados distribuídos por toda a área. Além disso, apresenta algumas vias de maior dimensão. A topografia também tem uma declividade, mas significativamente menor em relação às outras áreas. Essa configuração contribui para um melhor escoamento dos ventos e para a geração de maior sombreamento durante a trajetória do sol, tanto no poente quanto na nascente. No entanto, a região ainda enfrenta deficiência de áreas permeáveis e se destaca por apresentar a menor oferta de espaços públicos com áreas verdes. A arborização também é limitada, estando pouco presente na maior parte das vias e de forma insuficiente no interior das praças.

Dessa forma, conclui-se que a presença das praças desempenha um papel essencial, tanto do ponto de vista histórico quanto bioclimático, ao contribuir para a regulação do microclima local, promovendo maior conforto térmico e favorecendo a apropriação do centro histórico da Cidade Alta. Nesse contexto, programas como o PAC Cidades Históricas e outras iniciativas de requalificação urbana são fundamentais para garantir que esses espaços permaneçam funcionais, atrativos e socialmente apropriáveis.

Conclusão

Percebe-se que a metodologia de Oliveira (1993) complementa a de Katzschner (1997), propondo-se uma análise dos chamados “atributos bioclimatizantes” da forma urbana, combinada com os mapas elaborados. A pesquisa destaca a importância de um planejamento urbano que considere o conforto térmico e a sustentabilidade ambiental, promovendo um ambiente urbano que seja saudável e agradável para seus habitantes.

De acordo com os resultados, é possível verificar a importância da morfologia urbana do lugar em relação aos possíveis microclimas existentes na área de estudo. Sabe-se que a arborização é crucial na mitigação do microclima urbano. As áreas com maior densidade de árvores, como as encontradas nas praças, apresentam forte influência no resfriamento das superfícies, devido ao sombreamento. Porém, grande parte do perímetro estudado possui pouca arborização, com poucos espaços para inserção de verde, diante da irregularidade ou ortogonalidade parcial do tecido urbano do local, seguindo o padrão colonial português, com ruas estreitas e muitas casas geminadas umas com as outras.

Baseado nas análises dos mapas de topografia, uso do solo, vegetação, recobrimento do solo e altura das edificações da área de estudo, chegou-se em um mapa com a delimitação de áreas geomorfológicas com características em comum. Essa análise é importante para delimitar pontos para os próximos passos da pesquisa, devendo ser realizadas medições de variáveis ambientais e análise das variáveis humano-biometeorológicas, a partir de questionários com usuários do local, sobre as sensações térmicas.

Referências

ARAÚJO, E. H. S.; MARTINS, T. L. F.; ARAÚJO V.M.D. Dias climáticos típicos para o projeto térmico de edificações em Natal/RN. Natal: EDUFRN, 1998.

BARBOSA, Thiago. Praça André de Albuquerque, Natal-RN/Brasil #Ep. 89 #marcozero. YouTube: Poraicombarbosa, 23 set. 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=yHYJBapwR8Y>. Acesso em: 20 junho de 2025.

BUSTOS ROMERO, M. A. Arquitetura Bioclimática do Espaço Público. Brasília: Universidade de Brasília, 2001.

COSTA, Angelina D. L. A influência da forma de ocupação do solo urbano no microclima: uma fração do bairro de Petrópolis em Natal-RN. 2003. Dissertação (Mestrado) - UFRN, Natal.

KATZCHNER, L. Methodology for bioclimatic microscale mapping of open spaces, 2004.

LOMBARDO, Magda A. Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Editora Hucitec, 1985.

MILLER-CHAGAS, P.; PAUL, P. Configurations Urbanes: Apports Energetiques et Microclimats – Etude des espaces extérieurs de trois ensembles à Strasbourg. ARIAS, Strasbourg, 1980.

NOBRE, P. J. L.; MADRUGA, N. M.; CABRAL, J. C. M. C.; SOUSA, A. K. P. O tombamento do Centro de Natal (RN) e a preservação das praças históricas. In: 7º Seminário Mestres e Conselheiros: agentes multiplicadores do patrimônio. Anais... Belo Horizonte, 2015.

OLIVEIRA, P. M. P. Metodologia do Desenho Urbano considerando os Atributos Bioclimatizantes da Forma Urbana e permitindo o controle do conforto ambiental, do consumo energético e dos impactos ambientais, in: Anais do ENTAC 93 – Avanços em Tecnologia e Gestão da Produção de Edificações, volume 2. São Paulo: ANTAC/EPUSP, 1993.

OLIVEIRA, P. M. P. Cidade apropriada ao clima e a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Dissertação (Mestrado) – UNB, Brasília, 1985.

PORTAL IPHAN. Pac Cidades Históricas. 2014. Disponível em:
<<http://portal.iphan.gov.br/pac#:~:text=O%20Programa%20de%20Acelera%C3%A7%C3%A3o%20do,log%C3%ADstica%20e%20energ%C3%A9tica%20do%20Brasil>>.
Acesso em: junho, 2023.

IBGE, Biblioteca. Praça 7 de Setembro : [Monumento à Independência] : Palácio Potengi : Natal, RN. Disponível em:
<<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=442924&view=detalhes>>. Acesso em: 21 ago. 2025.

PREFEITURA DO NATAL. Natal foi contemplada com dez projetos no PAC Cidades Históricas. 2013. Disponível em:<<https://natal.rn.gov.br/news/post2/16953>>. Acesso em 29 de Jun de 2023.

ROMERO, M. A. B. Princípios bioclimáticos para o desenho urbano. São Paulo: Proeditores, 2000.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. A arquitetura bioclimática do espaço público. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

Anexos



Figura 1



Figura 2



Figura 3



Figura 4



Figura 5



Figuras 6 e 7



Figura 8



Figuras 9 e 10



Figura 11



Figura 12



Figura 13



Figura 14



Figura 15



Figura 16



Figura 17



Figura 18



Figura 19



Figura 20



Quadro 1

CÓDIGO: HS1506

AUTOR: FERNANDA SOUZA PINHEIRO

ORIENTADOR: RUTH MARIA DA COSTA ATAIDE

TÍTULO: O Sistema de Espaços Livres no Plano Diretor de Natal: contradições entre formulação e práticas

Resumo

Os espaços livres de edificações, quando articulados, cumprem a função social, ambiental, cultural e estética. Por este motivo, o presente artigo discute a experiência do Plano Diretor de Natal (2022) na aplicação do Sistema de Espaços Livres (SEL), bem como investiga se a divulgação de materiais essenciais foi cumprida. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, cujo objetivo é compreender de que forma o SEL foi incorporado ao contexto normativo do PDN 22. A análise evidenciou que as formulações e a composição do sistema apresentam-se de maneira contraditória e redundante, pois concentram-se quase exclusivamente em aspectos de conservação ambiental, restringindo sua multifuncionalidade e reduzindo as potencialidades de lazer, convívio e integração urbana. Além disso, os produtos das oficinas do PDN 22 sobre os diferentes tipos de espaços livres públicos e privados do território municipal não foram amplamente divulgados, comprometendo a transparência do processo. Conclui-se que a abordagem do SEL no PDN 22, embora represente um avanço ao reconhecer os espaços livres como elemento estruturante do planejamento territorial, ainda carece de maior clareza conceitual, arranjo normativo e de efetiva publicização, para que possa cumprir plenamente sua função social.

Palavras-chave: Sistema de Espaços Livres; Áreas Verdes; Plano Diretor de Natal.

TITLE: The System of Open Spaces in the Master Plan of Natal: Contradictions Between Formulation and Practices

Abstract

Open spaces, when properly articulated, fulfill social, environmental, cultural, and aesthetic functions. For this reason, this article discusses the experience of the Master Plan of Natal (2022) in applying the System of Open Spaces (SEL), as well as investigating whether the dissemination of essential materials was properly carried out. This is a qualitative, exploratory, and descriptive research aimed at understanding how the SEL was incorporated into the normative context of the PDN 22. The analysis revealed that the formulations and composition of the system are contradictory and redundant, as they focus almost exclusively on environmental conservation aspects, limiting its multifunctionality and reducing its potential for leisure, social interaction, and urban integration. Moreover, the results of the PDN 22 workshops on the different types of public and private open spaces in the municipal territory were not widely disseminated, compromising the transparency of the process. It is concluded that the approach to SEL in PDN 22, while representing progress in recognizing open spaces as a structural element of territorial planning, still lacks greater conceptual clarity, normative arrangement, and effective publicity, in order to fully fulfill its social function.

Keywords: System of Open Spaces; Green Areas; Natal Master Plan.

Introdução

As cidades capitalistas refletem uma tendência global comum: o aumento da densidade populacional em centros urbanos e os problemas relacionados à habitação, mobilidade e lazer, evidenciando os desafios do ordenamento urbano e territorial. Nesse contexto, o Sistema de Espaços Livres (SEL), entendidos como “conjunto de todos os espaços livres de edificação existentes na malha urbana, sua distribuição, suas conexões e suas inter-relações funcionais e hierárquicas” (Hijoka *et al.*, 2007, p. 121) contribui para a estruturação do tecido urbano, visando a garantia da função social da cidade conforme estabelece o Estatuto da Cidade e a Constituição Federal.

Em Natal, o Plano Diretor de 2022 (PDN 22) insere, pela primeira vez, a sistematização desses espaços em um capítulo específico, denominado Sistema de Espaços Livres e Áreas Verdes (SELAV). Apesar de representar um avanço no quadro normativo do município, esse instrumento suscita questionamentos quanto à sua classificação, pois não esclarece a metodologia adotada nem as motivações para a aglutinação conceitual, limitando os espaços livres aos que envolvem áreas que demandam estratégias de conservação ambiental. Essa

visão fragmentada gera baixa apropriação pela população e assim, a efetividade do planejamento urbano. O presente artigo faz parte de um dos produtos referente ao projeto de pesquisa “SELS na transformação das paisagens contemporâneas instrumentos da gestão urbana e ambiental, configuração dos espaços livres e proteção dos seus elementos naturais” com início no ano de 2024 e o intuito de investigar como o sistema de espaços livres compõe a paisagem urbana contemporânea natalense, com vista a investigar os processos de instrumento de gestão urbana e ambiental. Este artigo ainda se vincula com o plano de trabalho “Sistematização dos dados e análise dos atributos biofísicos e das unidades de paisagem das Zonas de Proteção Ambiental (ZPAs) 02, 07 e 10, realçando a conexão dos seus espaços livres”. Diante do exposto, buscamos entender qual foi a leitura técnica que os órgãos de planejamento urbano tiveram, visando compreender os critérios metodológicos empregados na classificação do SEL da capital potiguar e o processo de transparência na divulgação das informações.

Metodologia

O presente artigo parte de uma pesquisa de natureza qualitativa, com caráter exploratório e descritivo cujo objetivo é compreender de que forma o Sistema de Espaços Livres (SEL) é abordado no contexto normativo do PDN 22. Para isso, foram estabelecidas três etapas que compreendem: a revisão teórico conceitual, análise documental e o levantamento de informações junto às instituições responsáveis pela gestão desses espaços e os veículos de comunicação oficiais.

A primeira etapa consistiu na revisão teórico-conceitual sobre os temas centrais da pesquisa, como espaços livres, sistema de espaços livres, planejamento urbano e gestão ambiental. Para isso, recorreremos aos autores como Eugênio Queiroga (2012), Akemi Hijoka et al. (2007) que discutem conceitos, funções e tipologias dos espaços livres no meio urbano; Vera Tângari (2009), que discute o papel estratégico dos espaços livres no planejamento urbano, evidenciando seu potencial para reorganizar o território e orientar formas futuras de ocupação.

A segunda etapa envolve a análise documental da Lei Complementar nº 208/2022 que dispõe sobre o Plano Diretor de Natal e dá outras providências, com foco específico no capítulo I, art. 136, 137, 138 e

139, seções que tratam dos espaços livres, da estruturação territorial e dos elementos articuladores do sistema buscando identificar e interpretar como estes estão categorizados e qual papel desempenham na estruturação do território municipal. Dessa forma, realizou-se a leitura dos documentos oficiais produzidos no processo de revisão do PDN 22¹ e estudos que o fundamentaram, a partir dos documentos disponibilizados no portal do PDN (Natal, 2022b) vinculado a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo (SEMURB). Essa leitura foi articulada com os arts. 182 e 183 da Constituição Federal (Brasil, 1988), a Lei Federal nº 10.257/2001 (Brasil, 2001) que dispõe sobre o Estatuto da Cidade e auxiliaram na contextualização sobre a relação do plano diretor com o contexto normativo municipal e nacional; também houve a revisão sobre o Guia para implementação dos planos diretores através Rolnik (2001) que situou sobre o processo metodológico para implantação dos planos diretores nas cidades brasileiras, e ainda Anna Clara Araújo e Lindijane Almeida (2022)² que colaboraram na sistematização da leitura do processo de participação da revisão do PDN 22 a partir dos dados oficiais. Ainda, recorremos a Ataíde *et al.* (2022a) e Ataíde *et al.* (2022b) que versam sobre a trajetória da construção da reforma urbana em Natal e os efeitos do PDN 22 e por fim, Leôncio *et al.* (2020) com contribuições voltadas para a análise crítica ao processo participativo do PDN 22. Complementarmente, foram conduzidas entrevistas com técnicos da SEMURB, vinculados ao Setor de Planejamento Urbano e Ambiental. Para organizar e representar as informações obtidas, foram utilizadas ferramentas de edição gráfica que possibilitaram a elaboração de diagramas, facilitando a visualização dos dados analisados e contribuindo para a compreensão da articulação do SEL no contexto normativo e territorial da cidade de Natal.

¹ O processo de revisão do Plano Diretor de Natal teve início com a realização da primeira audiência pública em 2017 e terminou com a aprovação da Lei Complementar nº 208, de 07 de março de 2022 (Ataíde *et al.*, 2022).

² Outras referências e leituras utilizadas neste artigo são contrárias aos números e a forma como foi apresentado o processo de revisão do PDN 22 pelas autoras citadas, embora haja essas visões divergentes, o texto foi essencial para compreender a linha histórica dos acontecimentos que envolveram esse processo.

Resultados e Discussões

O Plano Diretor (PD) é um instrumento básico da política de desenvolvimento e de ordenamento territorial do município, conforme estabelecido pelo Estatuto da Cidade, obrigatório para todos os municípios com uma população superior a 20 mil habitantes a ser revisado, pelo menos, a cada dez anos (Brasil, 2001). O PD estabelece as diretrizes gerais para o uso e ocupação do solo, orientando o crescimento urbano, a proteção ambiental e a promoção da função social da cidade e da propriedade, além de assumir a responsabilidade de orientar os planos setoriais, cujos instrumentos estabelecem metas, diretrizes e ações específicas para diferentes setores da cidade. Esses planos especificam os modos de implementação das políticas públicas, levando em conta as particularidades do território. Podem contemplar diferentes planos, como por exemplo, o Plano de Áreas Verdes, elaborado a partir de uma leitura técnica e comunitária.

O processo de revisão do PDN 22 teve início com a realização da primeira audiência pública em 2017, dez anos após a última revisão. Entretanto, o andamento do processo foi suspenso devido às indefinições do regimento interno, à ausência de rigor metodológico e previsão da garantia da participação popular, sendo retomado apenas em fevereiro de 2019. O prosseguimento da revisão, no entanto, ainda coincidiu com a pandemia de Covid-19, o que resultou, mais uma vez, na interrupção dos trabalhos em março de 2020. O processo foi retomado em maio de 2020, desta vez, de forma virtual, contrariando as perspectivas da garantia da participação pública (Ataíde *et al.*, 2022 e Leôncio *et al.* 2020).

A metodologia do processo de discussão da revisão do plano foi organizada em três macrotemas: I. Macrozoneamento e Ocupação do Solo; II. Áreas Especiais; e III. Sistema de Planejamento, Gestão e Fundos de Desenvolvimento Urbano. No âmbito do macrotema III, destaca-se o subitem C, que evidenciou o Sistema de Áreas Verdes e Arborização Urbana (Gestão Ambiental), tema este que constitui o foco deste artigo. No site do Plano Diretor de Natal, vinculado à SEMURB (Natal, 2022b), consta o detalhamento da metodologia e os respectivos procedimentos adotados na revisão do plano. O processo previu que as informações fossem disponibilizadas tanto no portal eletrônico quanto na SEMURB e na Sala do Plano Diretor, garantindo a consulta pública e a participação da população. Além das contribuições online e por meio das oficinas, a sociedade pôde participar das audiências públicas realizadas ao longo do processo³.

Nesta etapa das oficinas, foram identificadas as potencialidades e os problemas, bem como as contribuições dos participantes, entidades representativas, Grupos de Trabalho (GTs) e agrupamentos por subtemas. Também foram tabulados as prioridades, palavras-chave, correlações, classificações, explicações e o responsável pela digitação dos dados. Para fins de delimitação do foco deste artigo, foram destacados nos relatórios os problemas relacionados ao subtema do Eixo C, que trata do Sistema de Áreas Verdes e Arborização Urbana (Gestão Ambiental). Dessa forma, buscou-se ressaltar as menções referentes à ausência de um sistema de espaços livres na cidade. Esses apontamentos foram identificados a partir das palavras-chave “espaço livre”, “espaços livres”, “áreas verdes” e “espaços verdes”, ou ainda por meio do subtema “sistema de áreas verdes e arborização urbana” nos quais foram sistematizados por meio da tabulação dos dados obtidos nas doze oficinas realizadas.

Dentre as potencialidades identificadas que se vincularam ao recorte, foram centradas questões sobre o meio ambiente urbano, ordenamento territorial, compensação ambiental, agricultura urbana, e revitalização de espaços públicos. No que se refere aos problemas identificados, estes se concentraram nas pautas relacionadas à gestão urbana, ambiental e territorial, com destaque para a “falta de um sistema de espaços livres”. Essa constatação esteve presente nos relatórios de dez das doze⁴ oficinas realizadas com um total de doze contribuições.

Entre os produtos gerados a partir desses dados, obteve-se a elaboração das cartas temáticas georreferenciadas, em escala adequada e em formato editável para AutoCAD e ArcGIS, conforme a pertinência dos estudos, além da elaboração de um relatório consolidado da leitura técnica. Apesar de constar no portal da SEMURB a previsão de disponibilização dos arquivos à sociedade civil e o prazo máximo para isso, o relatório resultante da leitura técnica, que reúne as metodologias empregadas para o arranjo e aglutinação dos componentes do sistema e entre outros dispositivos, não se encontra acessível, mesmo após mais de três anos da publicação do PDN 22. Em contato com o diretor do Setor de Planejamento Urbano e Ambiental⁵, foi informado que o documento ainda não havia sido publicado e, por esse motivo, não poderia ser disponibilizado. Até a data de submissão deste artigo, os arquivos permanecem indisponíveis. Ainda assim, o PDN 22 reconheceu a existência de um SEL, conceituou-o e publicou cartografias relativas a esse arranjo.

No glossário do PDN 22, observam-se duas formulações sobre o SEL apresentadas de forma isolada: “Sistema de Áreas Verdes” e “Sistema de Espaços Livres”, o que nos leva a compreender que são categorias distintas. O Sistema de Áreas Verdes é definido como o “conjunto das áreas verdes e a vegetação arbórea das áreas públicas e privadas, garantida a acessibilidade” (Natal, 2022a, anexo I, p. 96). Por outro lado, o Sistema de Espaços Livres é conceituado como o “conjunto de espaços não ocupados por edificações predominantemente cobertas, constituído por diversos elementos que estabelecem relações entre si, físicas, funcionais e ambientais, independentemente de sua dimensão, qualificação estética e funcional e de sua localização, sejam eles públicos ou privados” (Natal, 2022a, anexo I, p. 96). A primeira definição de áreas verdes considera a massa vegetada de forma geral, independentemente de sua localização em espaços públicos ou privados. Por outro lado, a segunda abordagem apresenta uma ambiguidade na composição na definição de “não ocupados por edificações predominantes cobertas”, não ficando claro o intuito da conceituação ou ainda, qual o grau de cobertura é considerado.

O Art. 136, por sua vez, delinea a definição do SELAV, integrando as formulações conceituações previamente discutidas. No entanto, a formulação apresentada no referido artigo tende a restringir a abrangência do sistema, ao concentrar-se principalmente nas áreas verdes e nas unidades de conservação ambiental, incluindo, portanto, somente os espaços livres públicos. Delimitação estabelecida reduz a amplitude conceitual originalmente atribuída aos espaços livres, excluindo de forma implícita outros tipos de espaços livres privados, como por exemplo os quintais e terrenos vazios privados que, embora não se qualifiquem como áreas verdes ou públicas, desempenham funções ambientais, sociais e urbanísticas relevantes. A exclusão destes componentes de titularidade privada, poderão de alguma forma, representar uma fragilidade na proteção e articulação futura do sistema.

Art. 136. O Sistema de Espaços Livres e Áreas Verdes do Município de Natal – SELAV – é composto pelo conjunto de áreas enquadradas nas diversas categorias protegidas pela legislação ambiental e urbanística, áreas de agricultura urbana, áreas prestadoras de serviços ambientais, das diversas tipologias de unidades de conservação, praças, e logradouros públicos, de espaços vegetados e de espaços livres de propriedade pública (Natal, 2022a, p. 42).

O Art. 139 define os componentes do Sistema de Espaços Livres e Áreas Verdes, destacando, de forma implícita, a redundância e a contradição entre a definição conceitual e a composição formal do sistema:

Art. 139. São componentes do Sistema de Espaços Livres e Áreas Verdes: I – zonas de proteção ambiental; II – unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável; III – áreas de preservação permanente; IV – parques lineares, parques urbanos, bosques e jardins botânicos; V – orlas marítimas, fluviais, estuarinas e lacustres; VI – vias verdes, corredores e trampolins ecológicos; VII – praças; VIII – espaços livres e áreas verdes de logradouros públicos, incluindo canteiros, rotatórias, vielas, ciclovias, escadarias; IX – espaços livres e áreas verdes de instituições públicas; X – espaços livres, áreas verdes e institucionais originárias de parcelamento do solo; XI – cemitérios; XII – horta comunitária; XIII – coleção arbórea; XIV – passeios públicos (Natal, 2022a, p. 43).

A composição do sistema resultou em uma base cartográfica caracterizada por múltiplas sobreposições, uma vez que um mesmo espaço livre pode se sobrepor a uma delimitação de área verde ou vice-versa. Essa sobreposição gera uma complexidade adicional na análise e gestão do sistema, uma vez que a mesma área pode ser classificada simultaneamente em diferentes categorias. Como destacado anteriormente, não foram encontrados relatórios técnicos que especificasse a metodologia adotada nem as razões subjacentes para a realização desse agrupamento, nem as respectivas referências conceituais, o que dificulta a compreensão do processo de definição e a coerência das classificações estabelecidas. A lacuna metodológica compromete a transparência e a robustez das decisões técnicas relacionadas à integração de diferentes tipologias de espaços no âmbito do SELAV. Embora o relatório técnico não tenha sido disponibilizado, foi possível identificar⁶, em um dos arquivos constante no portal do plano diretor (Natal, 2022b), que, em determinado momento da análise técnica, surgiram considerações no sentido de reestruturar o título do Sistema, adotando uma perspectiva ecológica mais abrangente do município, talvez, por esse motivo, tenha-se dado tanto enfoque aos espaços livres públicos de caráter ecológico e de conservação ambiental, uma vez que a proposta de reestruturação do sistema, orientada por uma base ecológica, buscasse priorizar áreas com valor ambiental significativo.

Figura 01: Composição do SELAV.

Fonte: Natal (2022a, anexo III, mapa 23).

A cartografia, entretanto, também não traduz as denominações dos componentes previamente estabelecidos. No corpo do texto, são elencados elementos como praças, cemitérios, parques lineares, parques urbanos, bosques, jardins botânicos, vias verdes, corredores e trampolins ecológicos; no mapa, todos esses espaços aparecem de forma genérica sob a indicação de “áreas verdes”. Essa simplificação não permite compreender se as diferentes categorias estão efetivamente contempladas ou se foram reduzidas unicamente à presença da cobertura vegetal. Além disso, observa-se outra imprecisão conceitual: os espaços livres são novamente equiparados às áreas verdes, sendo restringidos apenas aos espaços públicos como canteiros, rotatórias, vielas, ciclovias e escadarias que possuam o vegetado em sua composição, o que descaracteriza a amplitude do conceito de Sistema de Espaços Livres.

³ Embora conste nos veículos oficiais um “desenho” metodológico que vai de encontro ao cumprimento do Estatuto da Cidade, Ataíde et al. (2022b, p. 120) alerta que “o cronograma das audiências públicas resultou igualmente inadequado: concentrado em dias e horários que impediam o aprofundamento dos debates pelos vereadores e pela cidadania, novamente não permitiu reflexão qualificada de matéria tão complexa”.

⁴ Nas Oficinas 2 e 7 não foram registradas contribuições relacionadas ao subtema, tampouco menções às palavras-chave utilizadas como referência para a análise.

⁵ O contato com os órgãos de planejamento foi realizado por meio eletrônico, mediante o envio de e-mails direcionados à secretaria e ao gabinete. Contudo, não houve retorno às solicitações, sendo as informações posteriormente obtidas em entrevista realizada em 19 de agosto de 2025, na sede da SEMURB.

⁶ Trata-se de uma apresentação disponibilizada no veículo oficial (Natal, 2022b) referente à avaliação do PDN 2007. NATAL. Prefeitura Municipal do. **Lei Complementar nº 082, de 21 de junho de 2007.** Dispõe sobre o Plano Diretor de Natal e dá outras providências. Diário Oficial do Município, Natal, 21 jun. 2007.

Conclusão

O objetivo deste artigo de compreender de que forma o SEL foi incorporado ao PDN 22 e buscando averiguar a transparência de divulgação dos produtos técnicos resultou no entendimento que a conceituação e aplicação do SEL em Natal ainda constitui um desafio. Primeiramente, o processo de revisão do plano diretor não foi suficientemente transparente visto que, mesmo após três anos de

vigência, não foram disponibilizados os produtos das oficinas realizadas na leitura técnica e comunitária. Além disso, o sistema está estruturado com ênfase na conservação ambiental e apresenta uma confusão conceitual no rebatimento cartográfico, isto é, os componentes do sistema, conforme descritos, não correspondem ao que foi efetivamente identificado no mapa do SELAV. Essa discrepância transmite a ideia de que o SEL se limita exclusivamente às áreas verdes, desconsiderando outras categorias do sistema, incluindo os espaços privados, que são igualmente relevantes para a estruturação do sistema e do equilíbrio do tecido urbano.

Referências

ARAÚJO, Anna Clara Ferreira de; Almeida, Lindijane de Souza Bento. O lugar da participação no processo de revisão do plano diretor de natal (2019-2021). In: SILVA, Alexsandro Ferreira Cardoso da; CLEMENTINO, Maria do Livramento Miranda (org.). **Reforma Urbana e Direito à Cidade**. 1ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2022, v. 14, p. 97-112.

ATAÍDE, R. M. da C.; SILVA, A. F. C. da.; BRASIL, A. B.; LEÔNCIO, É. M. C. G.; ANDRADE, S. de A. e.; CAVALCANTE, S. M. de O. L.; SILVA, R.. O novo plano diretor de Natal: dois passos para trás e o que mais? In: Alexsandro Ferreira Cardoso da Silva e Maria do Livramento Miranda Clementino. (Org.). **Reforma Urbana e Direito à Cidade**. 1ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2022a, v. 14, p. 113-128.

ATAÍDE, R. M. C.; BENTES SOBRINHA, M. D.; BRASIL, A. B.; CAVALCANTI, E. R.; SILVA, R. Uma flor nasceu na rua: a reforma urbana e sua construção em Natal e entorno metropolitano a partir das ações extensionistas da UFRN. In: Alexsandro Ferreira Cardoso da Silva e Maria do Livramento Miranda Clementino. (Org.). **Reforma Urbana e Direito à Cidade**. 1ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2022b, v. 14, p. 37-53.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado, 1988.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 10 ago. 2025.

HIJIOKA, Akemi et al. Espaços livres e espacialidades da esfera de vida pública: uma proposição conceitual para o estudo de sistemas de espaços livres urbanos no país. **Paisagem e Ambiente**, São Paulo, Brasil, n. 23, p. 116–123, 2007. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i23p116-123. Disponível em: <https://revistas.usp.br/paam/article/view/87854..> Acesso em: 30 jul. 2025.

LEÔNCIO, E. M. C. G.; ATAIDE, R. M. C.; BRASIL, A. B.; ANDRADE, S. A.. O FÓRUM DIREITO À CIDADE DA UFRN E A REVISÃO DO PLANO DIRETOR DE NATAL 2017-2019. In: Seminário Internacional O Direito como Liberdade: 30 anos de O Direito Achado na Rua, 2020, Brasília. **Anais do Seminário Internacional O Direito como Liberdade:** 30 anos de O Direito Achado na Rua. Brasília: Pesquisa Direito Achado na rua, 2019. v.1.

NATAL, Prefeitura Municipal do. **Lei Complementar nº 208, de 07 de março de 2022.** Dispõe sobre o Plano Diretor de Natal, e dá outras providências. Diário Oficial do Município, Natal, 07 mar. 2022a.

NATAL, Prefeitura Municipal do. **Plano Diretor de Natal.** SEMURB, 2022b. Disponível em: <https://planodiretor.natal.rn.gov.br/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

QUEIROGA. Eugênio Fernandes. **Dimensões públicas do espaço contemporâneo:** resistências e transformações de territórios, paisagens e lugares urbanos brasileiros. Tese (livre-docência),

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
São Paulo, 2012.

ROLNIK, R. (Org.). **Estatuto da Cidade - guia para implementação pelos municípios e cidadãos.** 1. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, 2001. v. 1. 274p.

TÂNGARI, Vera Regina et al.. Sobre os Sistemas de Espaços Livres nas Cidades Brasileiras. In: TÂNGARI, Vera Regina et al. **Sistema de Espaços Livres: o cotidiano, apropriações e ausências.** Rio de Janeiro: FAU/UFRJ, 2009. p.16-495.

Anexos



Figura 01: Composição do SELAV.

CÓDIGO: HS1511

AUTOR: MARIA SAFIRA ALVES SINEZIO

ORIENTADOR: MAISA FERNANDES DUTRA VELOSO

TÍTULO: Alimentação e atualização das Mídias Eletrônicas do Grupo
PROJETAR/UFRN

Resumo

Este relatório apresenta as principais ações desenvolvidas ao longo da execução do plano de trabalho intitulado “Alimentação e atualização das Mídias Eletrônicas do Grupo PROJETAR/UFRN, sob a orientação da Pro^a. Dr^a. Maísa Veloso”. As atividades concentraram-se em dois eixos fundamentais: a atualização do site institucional do Grupo de Pesquisa e a Revista PROJETAR, periódico eletrônico quadrimestral voltado à publicação de artigos científicos nas áreas de Projeto e Percepção do Ambiente. O plano de trabalho teve como objetivos a inserção da bolsista no contexto da pesquisa acadêmica, o reconhecimento das potencialidades dos sistemas utilizados pelo Grupo e a atualização periódica de suas ferramentas eletrônicas. Dentre os resultados, destacam-se a participação parcial na organização e publicação do volume 9 (edição 27) e volume 10 (edições 28 e 29) da Revista PROJETAR, a indexação dos artigos publicados na plataforma DOAJ, a manutenção do Banco de Dados Projedata, a divulgação de pesquisas e a atualização do site do Grupo cumprindo, assim, os objetivos propostos.

Palavras-chave: Arquitetura, Revista Eletrônica, Banco de dados, Biblioteca Virtual.

TITLE: Management and Updating of the Electronic Media of the
PROJETAR/UFRN Research Group

Abstract

This report presents the main actions carried out throughout the execution of the work plan entitled “Feeding and Updating the Electronic Media of the PROJETAR/UFRN Group, under the supervision of Prof. Dr. Maísa Veloso.” The

activities focused on two fundamental axes: the update of the Research Group's institutional website and the Revista PROJETAR, a quarterly electronic journal dedicated to publishing scientific articles in the fields of Design and Environmental Perception. The objectives of the work plan were to integrate the scholarship holder into the academic research context, to recognize the potential of the systems used by the Group, and to periodically update its electronic tools. Among the results, the following stand out: partial participation in the organization and publication of volume 9 (issue 27) and volume 10 (issues 28 and 29) of Revista PROJETAR, the indexing of published articles on the DOAJ platform, the maintenance of the Projedata Database, the dissemination of research, and the update of the Group's website, thus fulfilling the proposed objectives.

Keywords: Architecture, Electronic Journal, Database, Virtual Library.

Introdução

O presente relatório apresenta as ações relacionadas à execução do plano de trabalho “Alimentação e atualização das Mídias Eletrônicas do Grupo PROJETAR/UFRN”, desenvolvido no âmbito do projeto de pesquisa “50 anos do CAU-UFRN: emergência e evolução da pesquisa na área de Projeto e seus rebatimentos no ensino”, vinculado ao Departamento de Arquitetura da UFRN e sob a orientação da Prof.^a Dr.^a. Máisa Fernandes Dutra Veloso.

O Grupo de Pesquisa PROJETAR está vinculado ao Centro de Tecnologia e direciona suas principais linhas de investigação para as áreas de Projeto de Arquitetura e Percepção do Ambiente. A denominação do grupo remete ao evento “PROJETAR – Seminário sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura”, realizado em Natal/RN em 2003, ano que também marcou a constituição do grupo de pesquisa.

Atualmente, o Grupo de Pesquisa é responsável pela manutenção de três importantes mídias eletrônicas voltadas à área de Projeto de Arquitetura: a Revista PROJETAR, o Banco de Dados PROJEDATA e o site institucional do Grupo. A revista, classificada como Qualis A3, constitui um periódico quadrimestral de acesso online, hospedado no Portal de Periódicos da UFRN (<https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/index>).

A revista publica artigos científicos e resumos expandidos submetidos à avaliação por pares em sistema duplo-cego, distribuídos nas seções de Pesquisa, Ensino, Teoria e Conceito, Crítica e Práxis, além de reservar espaço para ensaios de pesquisadores de destaque na área. O periódico é operado por meio do software de código aberto Open Journal System (OJS/PKP), que gerencia todo o processo editorial, desde a submissão e avaliação até a publicação das edições.

A Revista PROJETAR encontra-se, até o momento, em sua 30^a edição, publicando em cada volume trabalhos acadêmicos submetidos à revisão por

pares. Tanto os artigos individualmente quanto as edições completas recebem registro de DOI (Digital Object Identifier), assegurando sua identificação e rastreabilidade no meio científico.

O site do Grupo de Pesquisa PROJETAR (<https://www.grupoprojetar.ct.ufrn.br/>), hospedado em um sistema gratuito e de código aberto intitulado Joomla, constitui o espaço virtual destinado à divulgação de notícias e informações sobre as atividades do grupo, incluindo a promoção de encontros e rodas de conversa, a realização dos Seminários PROJETAR, o lançamento de novas edições da revista, além de outras iniciativas vinculadas aos pesquisadores.

Os objetivos desta pesquisa consistiram inicialmente na inserção do bolsista no campo da investigação científica. Paralelamente, buscou-se examinar as potencialidades e limitações dos sistemas e softwares empregados nas pesquisas do Grupo, com ênfase no Open Journal System e no DSpace. O plano de atividades também contemplou a atualização periódica dos meios eletrônicos do Grupo, incluindo a criação de novas publicações e a alimentação do banco de dados, além da colaboração na editoração final dos artigos e no design gráfico da Revista PROJETAR, bem como a análise crítica do cenário recente da pesquisa na área de Projeto no CAU-UFRN. Dessa forma, este relatório tem por finalidade expor as principais ações e resultados obtidos no âmbito da iniciação científica, além de indicar perspectivas para sua continuidade.

Metodologia

O percurso metodológico do plano de trabalho baseou-se, em grande medida, na continuidade das atividades já desenvolvidas no plano anterior. Nesse contexto, a bolsista atuou na revisão do material gráfico da Revista Projetar, além de colaborar na manutenção e atualização das mídias vinculadas ao Grupo de Pesquisa PROJETAR.

Paralelamente, a estudante, sob orientação da professora responsável, contribuiu para a inserção da Revista Projetar no Directory of Open Access Journals (DOAJ). Esse diretório constitui-se como uma plataforma de indexação e hospedagem de periódicos de acesso aberto, cujo conteúdo é gratuito e segue rigorosos critérios de qualidade, seja por meio do processo de revisão por pares, seja pelo controle editorial especializado.

Resultados e Discussões

Conforme já destacado, o site do Grupo encontra-se atualmente hospedado em um sistema gratuito e de código aberto denominado Joomla. Trata-se de uma plataforma de gerenciamento de conteúdo que se distingue por facilitar a

separação entre design, programação e material a ser publicado. Nesse sentido, o Joomla funciona como uma estrutura básica de site, equipada com recursos essenciais e que possibilita ampla personalização e gestão. Por meio dele, foi realizada a atualização do site do Grupo de Pesquisa PROJETAR, incluindo publicações que direcionam os visitantes para o portal da Revista Projetar.

Paralelamente à manutenção do site institucional, durante a vigência da bolsa também foi dada continuidade ao desenvolvimento dos projetos gráficos da Revista Projetar, classificada como Qualis A3. O periódico, de fluxo contínuo e publicação quadrimestral, recebe artigos científicos organizados em cinco seções: Ensino, Pesquisa, Teoria e Conceito, Crítica e Práxis. Todos os manuscritos passam por avaliação duplo-cega e abordam temáticas relacionadas ao Projeto Arquitetônico e à Percepção do Ambiente.

No período analisado, foram lançadas três edições da Revista, correspondentes a setembro/2024, janeiro/2025 e maio/2025, que compõem os números 27, 28 e 29, respectivamente, disponíveis no Portal de Periódicos da UFRN (<https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/issue/archive>).

A edição nº 27 (v.9 n.3), publicada em setembro de 2024, reuniu dez artigos distribuídos nas Seções Ensino e Pesquisa e, na Seção Práxis, apresentou um dossiê especial em celebração aos 50 anos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (CAU-UFRN). Esse dossiê contemplou textos que abordam a trajetória histórica e o perfil atual do curso, a produção científica na área de Projeto e uma seleção de trabalhos de estudantes e professores premiados em concursos.

A edição nº 28 (v.10 n.1), lançada em janeiro de 2025, publicou treze artigos distribuídos entre as seções Ensino, Crítica, Ensaio, Teoria e Conceito, Pesquisa e Práxis, ampliando a diversidade temática do periódico.

Já a edição nº 29 (v.10 n.2), publicada em maio de 2025, trouxe treze artigos que enfatizam diferentes possibilidades de atuação e impacto no campo da Arquitetura e Urbanismo, organizados nas seções Ensino, Crítica, Teoria e Conceito e Pesquisa.

As capas dessas três edições foram idealizadas pelo professor Verner Monteiro e produzidas no software Adobe Illustrator. Atualmente, no mês de agosto, encontram-se em andamento os trabalhos de organização do próximo número, com previsão de lançamento no Portal de Periódicos até o final de setembro.

Cabe destacar que todos os artigos e publicações da Revista Projetar foram indexados no Directory of Open Access Journals (DOAJ), diretório internacional de periódicos de acesso aberto reconhecido pela relevância e rigor de qualidade. Essa indexação amplia a visibilidade e facilita o acesso às produções do periódico em âmbito global, disponível pelo link: <https://doaj.org/toc/2448-296X>.

Conclusão

A partir das experiências apresentadas, verifica-se que os objetivos do plano de trabalho foram atingidos, uma vez que a bolsista pôde ser inserida no contexto da pesquisa científica, exercitando a análise das potencialidades e limitações dos sistemas adotados pelo Grupo Projetar, como o Open Journal System.

Além disso, garantiu-se a atualização regular dos meios eletrônicos do Grupo PROJETER, bem como a publicação das edições quadrimestrais da Revista Projetar. Vale destacar que, para além da inserção de novas publicações, também houve a revisão e atualização dos dados referentes aos integrantes do Grupo disponibilizados no site institucional.

Assim, as ações desenvolvidas no âmbito do site e da Revista Projetar contribuíram para que a bolsista adquirisse conhecimentos relevantes, favorecendo a construção de uma postura crítica diante da produção acadêmica de qualidade na área, além de ampliar seu domínio das ferramentas utilizadas no processo.

Registra-se, ainda, o agradecimento à professora orientadora Maísa Veloso, à professora Gleice Elali, ao professor Verner Monteiro e aos demais bolsistas do Grupo Projetar, cuja colaboração foi indispensável para a realização das atividades descritas.

Por fim, espera-se dar continuidade às atividades da bolsa de iniciação científica, ampliando o compromisso com a difusão do conhecimento e o acesso à informação sobre Projeto Arquitetônico e Percepção do Ambiente, tanto no meio acadêmico quanto em outros setores da sociedade, de maneira cada vez mais efetiva.

Referências

BURGHARDT, D.; HACKER, M. Informed Design: a contemporary approach to Design Pedagogy. Disponível em:
https://www.hofstra.edu/pdf/academics/colleges/seas/ctl/ctl_informeddesign_003.pdf.
Acesso em: 07 jul. 2023.

CAPES. Documento de Área 2013, Arquitetura, Urbanismo e Design. Disponível em:
http://capes.gov.br/images/stories/download/avaliacaotrienal/Docs_de_area/Arquitetura_Urbanismo_e_Design_doc_area_e_comiss%C3%A3o_16out.pdf.

CHUPIN, J-P. As três lógicas analógicas do projeto em Arquitetura: do impulso monumental à necessidade de pesquisa, passando pela inevitável questão da

“ensinabilidade” da arquitetura. In: LARA, F.; MARQUES, S. (org.). PROJETAR: desafios e conquistas da pesquisa e do ensino de projeto. Rio de Janeiro: Editora Virtual Científica, 2003.

CROSS, N. Expertise in Design: an overview. *Design Studies*, v.25, p.427-441, 2004.

DARQ/UFRN. Disponível em: <http://darq.ufrn.br/graduacao/>. Acesso em: 09 jul. 2023.

EURAU'04. Journées européennes de la recherche architecturale et urbaine. La question doctorale. Anais... Marselha: ENSA, 2004.

GROAT, L.; WANG, D. *Architectural Research Methods*. New York: Wiley, 2013.

KOSKINEN, I.; ZIMMERMAN, J.; BINDER, T.; REDSTRÖM, J.; WENSVEEN, S. *Design Research Through Practice: From the Lab, Field and Showroom*. Waltham, MA, USA: Elsevier/Morgan Kaufmann, 2011.

KOWALTOWSKI, D.; MOREIRA, D. As pesquisas sobre processos de projeto em arquitetura: argumentos para uma reflexão. *Revista PROJETAR – Projeto e Percepção do Ambiente*, v.1, n.1, p.42-52, nov. 2015.

LAWSON, B. *Como arquitetos e designers pensam*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LAWSON, B. Design Research in Architecture: An Overview. *Design Studies*, v.36, n.1, p.125-130, jan. 2015.

LIMA, A. G. et al. Indicadores da Pesquisa Acadêmica em áreas de prática projetual. In: V PROJETAR, 2011, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: [s.n.], 2011. v.1, s/p.

MACWILLIAM, E.; TAYLOR, P. Im/material: challenging the new pedagogies of Instructional Design. *Educational Researcher*, v.27, n.8, p.29-35.

SANTOS Jr., W. R.; SOBRAL, J. E. C.; ELALI, G. V. M. A. Avaliação Quadrienal 2017-2021 - Relatório de Avaliação - Área de Arquitetura, Urbanismo e Design (Área 29). Brasília: CAPES, 2023. Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/avaliacao/consultaFichaAvaliacao.jsf?jsessionid=u7GqkyC8wZPhd12eFJ0islIg.sucupira-205>.

SYKES, C. *Constructing a New Agenda for Architecture: Architectural Theory 1993-2009*. Nova York: Princeton Architectural Press, 2011.

VELOSO, M.; MARQUES, S. A pesquisa como elo entre teoria e prática do projeto: alguns caminhos possíveis. *Arquitextos*, São Paulo, ano 8, n.088.8, Vitruvius, set. 2007. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.088/211>.

VELOSO, M.; SILVA, A. B. L.; LOBAO, R. S. A pesquisa na área de projeto de Arquitetura e Urbanismo no Brasil (2003-2015). In: VIII PROJETAR, 2017, Buenos Aires. Anais do VIII PROJETAR 2017. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2017.

Sites:

DOAJ: Disponível em: <<https://doaj.org/>>. Acesso em: 22 de agosto de 2025

JOOMLA: Disponível em: <<https://www.joomla.org/>>. Acesso em: 22 de agosto de 2025.

REVISTA PROJETAR: Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/revprojetar>>. Acesso em: 22 de agosto de 2025.

GRUPO PROJETAR: Disponível em: <<https://grupoprojetar.ct.ufrn.br/>>. Acesso em: 22 de agosto de 2025.

CÓDIGO: HS1521

AUTOR: MAYSE DE OLIVEIRA BEZERRA

ORIENTADOR: GEORGE ALEXANDRE FERREIRA DANTAS

TÍTULO: Incúrias da memória, cidades arruinadas: uma análise dos Casos do Cortiço “Cabeça de Porco” (1893) e da Catedral neorromânica de Natal (1955-1973)

Resumo

Este estudo explora as ruínas e demolições em cidades brasileiras, com foco nas transformações urbanas e nos significados da modernidade. A pesquisa examina dois casos emblemáticos: a demolição do cortiço “Cabeça de Porco” no Rio de Janeiro e as ruínas da Catedral Neorromânica de Natal. Utilizando uma metodologia baseada na História Cultural Urbana, com análise de periódicos da época, o trabalho busca compreender os discursos de “modernização” e “progresso” que justificaram essas intervenções. Os resultados destacam como as demolições apagaram ou resignificaram memórias urbanas, revelando as tensões entre tradição e modernidade e a influência da arquitetura modernista no desenvolvimento das cidades. A investigação também compara as “ruínas intempestivas”, mostrando como elas refletem as disputas da modernidade urbana.

Palavras-chave: catedral neorromânica; modernismo; modernidade; cortiço “cabeça de porco”

TITLE: Injuries of memory, ruined cities: an analysis of the cases of the “Cabeça de Porco” tenement (1893) and the neo-Romanesque Cathedral of Natal (1955-1973)

Abstract

This study explores ruins and demolitions in Brazilian cities, focusing on urban transformations and the meanings of modernity. The research examines two emblematic cases: the demolition of the "Cabeça de Porco" tenement in Rio de Janeiro and the ruins of the Neo-Romanesque Cathedral in Natal. Using a methodology based on Urban Cultural History and analyzing periodicals, the work seeks to understand the discourses of "modernization" and "progress" that justified these interventions. The results highlight how demolitions erased or redefined urban memories, revealing the tensions between tradition and modernity and the influence of modernist architecture on urban

development. The research also compares "untimely ruins," showing how they reflect the struggles of urban modernity.

Keywords: neo-Romanesque cathedral; modernism; modernity; "Cabeça de Porco" tenemen

Introdução

Este estudo examina ruínas e eventos de demolição conectados à pesquisa "Fontes para a História Urbana: Eventos de Demolição e os Significados da Modernidade". Este trabalho faz parte do Projeto de Pesquisa "Ruínas e Escombros da Modernidade: Arquitetura, Reforma e Cultura Urbana", vinculado ao Grupo de História da Cidade, do Território e do Urbanismo (HCUrb), que investiga transformações socioespaciais das cidades brasileiras e, em especial do território do Nordeste. O plano atual, ao focar nos estudos de caso do cortiço "Cabeça de Porco" e a Catedral de Natal, ajuda a compreender o tema das ruínas, escombros da modernidade. Especificamente, ao tratar do caso das ruínas da inacabada catedral neorromânica de Natal contribui para a historiografia em desenvolvimento sobre os conflitos de representações e imaginários da modernidade na cidade de Natal.

Estas atividades continuam planos anteriores que focaram nos processos de modernização urbana, surgidos a partir de debates sobre demolições. O estudo analisa dois períodos: o desenvolvimento da arquitetura religiosa em Natal (1954-1972) e alguns discursos acerca da demolição do cortiço "Cabeça de Porco" no Rio de Janeiro (1883), examinando os discursos de "modernização" e "progresso" em ambos os casos.

A investigação busca a construir um panorama detalhado dos eventos, ações e debates nas três esferas do poder administrativo, analisando as representações culturais e políticas relacionadas a esses processos. Ao examinar os debates sobre demolições parciais de centros históricos e as tentativas de preservação de acervos deteriorados, a pesquisa a qual se vincula esse plano busca entender as disputas de imaginário que moldaram cidades brasileiras, principalmente Rio de Janeiro, São Paulo, Recife, Salvador e Natal. A análise dessas representações revela tanto espaços de memória quanto de amnésia social, enriquecendo a historiografia das cidades brasileiras ao evidenciar as sensibilidades e imaginários que influenciaram a materialidade urbana. Esta pesquisa amplia o entendimento das transformações urbanas e, como desdobramentos, ajuda a discutir os processos de institucionalização do patrimônio cultural no Brasil e a importância dela.

É importante salientar que esta pesquisa resulta da colaboração de diversos pesquisadores do HCUrb que se envolveram em ações além de suas pesquisas individuais, enriquecendo o grupo. Para a presente pesquisa, os esforços de levantamento e sistematização de periódicos e crônicas se voltaram também para os recortes dos pesquisadores Rebeca Grilo (doutoranda) e Marizo Vitor (doutorando).

Para atingir os objetivos propostos, os periódicos da época ajudam a compreender como foram construídas as representações da cidade e as ações mobilizadas, expressando tendências e permitindo contextualizações históricas. Assim, tornam-se uma fonte relevante para a historiografia urbana e uma das principais bases desta pesquisa. Esta

abordagem fundamentada na História Cultural Urbana permite entender como as dinâmicas urbanísticas se relacionam às questões sociais e como estas afetaram a vida nas cidades. O trabalho busca superar a lacuna bibliográfica existente sobre a temática das ruínas e escombros no caso do cortiço cabeça de porco (no Rio de Janeiro) e a catedral neorromânica (em Natal), caracterizada pela escassez de fontes e estudos específicos para o período em questão, revelando aspectos pouco documentados da história urbana.

A estrutura do relatório apresenta um detalhamento da metodologia, explicando a busca em acervos digitais e a sistematização em bases de dados coletivas, seguido pelos resultados alcançados. Também são discutidas as novas ideias de progresso através do modernismo que acompanham este processo. Nas considerações finais, destacam-se os desdobramentos da pesquisa.

Metodologia

Os procedimentos metodológicos empregados nesta pesquisa estruturam-se em quatro eixos fundamentais: revisão bibliográfica, levantamento documental, análise de fontes primárias e sistematização dos dados obtidos. É importante ressaltar que, a partir da década de 1940, a sociedade de Natal já contava com periódicos consolidados que documentavam informações, registravam acontecimentos e estimulavam discussões sobre aspectos político-sociais da cidade, assim como no Rio de Janeiro. Entre estes veículos destacam-se “A Ordem”, “Diário de Natal” e “A República”, cujos acervos encontram-se parcialmente disponibilizados em formato digital através da Hemeroteca Digital da Biblioteca Nacional Brasileira.

Para assim investigar as políticas urbanísticas e higienistas do Rio de Janeiro no final do século XIX que culminaram na demolição do cortiço “Cabeça de Porco”, identificando os principais agentes e discursos envolvidos. Além de, com uma ênfase maior no desenvolvimento deste estudo, levantar as motivações para a construção de uma nova Catedral em Natal no início do século XX, analisando os fatores políticos, sociais e religiosos que levaram à interrupção da obra e à sua transformação em ruínas. E por fim, mapear a cobertura da imprensa sobre a demolição das ruínas da Catedral Neorromânica em Natal, identificando os argumentos favoráveis e contrários à sua preservação e/ou a continuação.

Inicialmente, conduziu-se uma revisão bibliográfica estruturada para fundamentar e direcionar a pesquisa, organizada em dois eixos principais. O primeiro eixo aborda o contexto social, a arquitetura religiosa e o fenômeno das ruínas urbanas. Para este propósito, foram analisadas as seguintes obras: “Templos modernos, templos ao chão: a trajetória da arquitetura religiosa modernista e a demolição de antigos templos católicos no Brasil” (Silveira, 2011); “Untimely Ruins: An Archaeology of American Urban Modernity, 1819–1919” (Yablon, 2009); “De patrimônio, ruínas urbanas e existências breves” (Lira, 2013); “A Narrativa do Dr. Manoel Dantas: o discurso modernizador justificando a ação sobre o espaço da cidade do Natal” (Oliveira, 2005); “Escombros e vestígios: os debates sobre os arrasamentos nas reformas urbanas das cidades brasileiras (Rio de Janeiro, São Paulo e Recife no início do século XX)”, (Sousa, 2016);

“URBICÍDIO: a destruição material da cidade como prática violenta de amnésia social [Tese ainda por defender], (Sousa, 2025); “Ruins of Modernity”, (Hell, Schönle, 2010). O segundo eixo concentra-se nas metodologias de coleta e interpretação dos materiais analisados, utilizando como referencial teórico a História Cultural Urbana: Roger Chartier “A história cultural: entre práticas e representações” (1990) e “Inscrever e Apagar” (2006), Sandra Pesavento “Crônica: a leitura sensível do tempo. 1997” (1997), Peter Burke “Variedades da História Cultural” (2000), Carlo Ginzburg “Mitoses, emblemas e Sinais” (1991) e Antonio Candido “Literatura e Sociedade” (2006), entre outros.

É pertinente ressaltar alguns conceitos fundamentais conforme apresentados por Roger Chartier em “A História Cultural: entre práticas e representações” (1990) e “Inscrever e Apagar” (2006). A História Cultural examina sistematicamente as práticas e significados atribuídos às ações humanas no contexto social, enfatizando o papel crucial das práticas culturais na construção das identidades coletivas. As representações são definidas como estruturas simbólicas que configuram a percepção da realidade, determinando como as sociedades interpretam e replicam o mundo circundante. O paradigma indiciário, como formulado por Carlo Ginzburg, é aplicado por Chartier para destacar a análise minuciosa de indícios e sinais em textos e práticas culturais, facilitando uma compreensão mais elaborada das culturas históricas mediante elementos aparentemente secundários. Esta abordagem contribui para a análise de textos ao demonstrar que periódicos não operam como transmissores imparciais de informações, mas como entidades que elaboram significados sociais a partir de suas práticas culturais e orientações ideológicas. Ao analisar comparativamente a cobertura de um evento por diversos jornais, esta metodologia possibilita identificar como cada veículo estrutura suas narrativas conforme seus interesses específicos, influenciando a opinião pública e evidenciando o papel ativo da mídia na construção da realidade social.

Subsequentemente, procedeu-se à identificação, análise e catalogação sistemática de publicações e dados referentes ao período de 1950–1979 que mencionam a Catedral neorromana e o cortiço “cabeça de porco” de 1880–2025, abrangendo desde sua fase de concepção até a demolição. Esta investigação fundamentou-se em conteúdo extraído de três publicações periódicas de significativa relevância na época (A República, A Ordem, Diário de Natal), culminando na elaboração de um documento cronológico que registra os principais acontecimentos e suas respectivas datas. Paralelamente ao processo de catalogação, realizou-se uma análise do panorama histórico e sociocultural no qual o desenvolvimento da catedral estava inserido. A metodologia de pesquisa documental empregou a plataforma Hemeroteca Digital para a coleta de materiais jornalísticos, priorizando a identificação de termos-chave associados à catedral neorromânica em Natal e o Cortiço “cabeça de porco” no Rio de Janeiro. É importante salientar que estas palavras-chave foram utilizadas em diversas combinações para otimizar os resultados da pesquisa.

Esta investigação científica representa o produto da colaboração interdisciplinar entre pesquisadores vinculados ao HCUrb, cujas contribuições transcenderam seus projetos individuais. Esta abordagem colaborativa não somente potencializou os resultados institucionais do grupo de pesquisa, como também proporcionou um significativo enriquecimento metodológico ao processo investigativo.

Resultados e Discussões

Cabe destacar que, os resultados e discussões estão organizados em dois estudos de casos diferentes, o primeiro no Rio de Janeiro e o segundo em Natal. Ambos os casos são conflitos acerca das demolições e ruínas na paisagem.

Nas primeiras décadas do século XX, muitas cidades passaram por demolições no contexto de grandes reformas urbanas, que implicaram, por exemplo, na reestruturação viária, permitindo alargamento, alinhamento e abertura de novas ruas, além da criação e melhoramento de espaços públicos. Justificadas por Rodrigues Alves, em seu Manifesto à Nação, as reformas com a necessidade de saneamento e a eliminação da cidade colonial. Sousa (2016, p. 118) destaca em seus estudos que as motivações demolidoras não residiam somente na necessidade de expansão ou reconfiguração da estrutura e paisagem urbana, mas na intenção de apagar o que não corroborava com os imaginários de modernidade e civilidade.

As demolições colocam em xeque parte da memória urbana, eliminando elementos que compunham a narrativa da cidade. Elas podem subverter ou apagar a memória de edifícios, monumentos ou paisagens, desqualificando-os como pertinentes à história da cidade. Em seus estudos, Sousa (2016, p. 104) observou que certos eventos de demolição tiveram seus debates silenciados, enquanto outros geraram mobilizações que transcendiam os limites municipais e estaduais. Muitas vezes essas ocorrências eram registradas pelos meios de comunicação da época: os jornais, em que desempenharam um papel multifacetado e crucial nas reformas urbanas das cidades brasileiras no início do século XX, atuando como veículos de informação, moldadores da opinião pública, plataformas para debates intelectuais e, por vezes, como um “quarto poder” que influenciava diretamente as decisões políticas e sociais (Barreto, 1919, p. 55, apud Sousa, 2016, p.104)

Com os avanços do pensamento modernista como meio de expressão cultural cada vez mais abrangente e hegemônico, na arquitetura nos templos católicos não foi diferente. Entre as décadas de 1940 e 1960, diversos antigos templos católicos foram demolidos para dar lugar a igrejas modernistas, como em Ferros, Blumenau, Bragança Paulista, Cataguases, Carmo do Rio Claro, Lagoa Santa e Maringá, como destaca o trecho abaixo:

Apurar as circunstâncias específicas nas quais todas essas igrejas foram construídas exigiria, sem dúvida um trabalho de fôlego muito maior que este ora proposto. Contudo, é de fundamental importância destacar que entre as ocorrências de igrejas modernistas construídas no Brasil durante as décadas de 1940 e 1960 houve – assim como no caso da cidade mineira de Ferros – diversos casos em que antigos templos católicos foram demolidos para dar lugar às novas edificações. Blumenau, Bragança Paulista, Cataguases, Carmo do Rio Claro, Lagoa Santa, Maringá, Piranga e o próprio caso de Ferros são apenas alguns exemplos de um processo que parece ter alcançado proporções bem maiores. Acreditamos que, em casos como esses, ampliou-se bastante a intensidade da experiência modernista na arquitetura religiosa brasileira, por ser incorporada ao seu projeto a destruição de edifícios até então fundamentais na constituição da autoimagem das comunidades católicas (Silveira, 2011, v. 1, p. 104) .

Com isso, estudar os processos de demolições das representações sobre os desmanches no tecido urbano e arquitetura abre perspectivas para a história cultural urbana, iluminado as especificidades desses processos e as mudanças de sensibilidade em relação ao conjunto edificado.

Um desses casos é o do Cortiço “Cabeça de Porco”, o qual é mencionado nos jornais como um tipo de habitação popular que foi alvo de demolições durante os processos de modernização urbana no Brasil no início do século XX, no Rio de Janeiro. Que compreendia pessoas de baixa renda que moravam em pequenos apartamentos, em situações desumanas. E em determinado momento foi observado pelo poder público que no local do cortiço tinha uma potencialidade construtiva para a modernização da cidade, conforme podemos observar no trecho:

Na verdade, muitas mudanças já haviam sido iniciadas antes, na administração de Barata Ribeiro, que resolveu dar combate às habitações coletivas insalubres do Centro da cidade, acabando com os mercados da Harmonia e da Glória transformados em cortiços, e com o famoso Cabeça de Porco, quase um bairro de casas pobres que se espalhava nas proximidades da Central do Brasil. Reduto de lavadeiras, capoeiristas e pequenos artesãos, dizia-se que toda a área era propriedade do Conde D'Eu. Em 1893, no entanto, a demolição do casario dá lugar à construção do Túnel João Ricardo, concluído trinta anos mais tarde. O nome do cortiço, porém, persistiu, significando toda e qualquer moradia promiscua daí em diante. (A Noite, 5 fevereiro de 1953)

O caso da demolição do cortiço Cabeça de Porco (1893) revela questões que vão se tornar recorrentes ao longo das três primeiras décadas do século XX, onde as Reformas de Embelezamentos serão finalmente executadas, após o longo planejamento feito por grupos diversos desde o último quartel do século XIX (Andreatta, 2011, p. 15)

Os discursos sobre o "Cabeça de Porco" colocavam em disputa a presença urbana de seus moradores, que ora eram alienados de sua agência social, tornando-se meros brinquedos do determinismo social, ora eram elevados ao posto de algozes do bom uso da cidade. Além da deterioração física do cortiço, as práticas atribuídas aos seus moradores tornaram-se alvo de uma crescente política disciplinar (Rago, ano, p. 35), na qual as camadas trabalhadoras, algumas recém-libertas da escravidão (1888), foram novamente privadas de seus direitos. Entre esses direitos estavam o de morar próximo de seus locais de trabalho, enquanto jornais e autoridades municipais associavam diretamente o próprio edifício à indisciplina de quem o habitava ou transitava em suas imediações. Não por acaso, as ações institucionais contra esses moradores poderiam ser interpretadas hoje como medidas de necropolítica (Foucault, 1997, p. apud Mbembe, 2018, p. 65) e de urbicídio (Sousa, 2025).

Destaca-se, ainda, que as grandes transformações urbanas no Rio de Janeiro, frequentemente associadas à gestão de Pereira Passos (trabalhado mais na dissertação de mestrado de Sousa em 2016) no início do século XX, na verdade, começaram antes, durante a administração de Barata Ribeiro, em que foram demolidos o Mercado da glória e o cortiço “cabeça de porco”, como podemos observar a seguir:

Na verdade, muitas mudanças já haviam sido iniciadas antes, na administração de Barata Ribeiro, que resolveu dar combate às habitações coletivas insalubres do Centro da cidade,

acabando com os mercados da Harmonia e da Glória transformados em cortiços, e com o famoso Cabeça de Porco, quase um bairro de casas pobres que se espalhava nas proximidades da Central do Brasil. Reduto de lavadeiras, capoeiristas e pequenos artesãos, dizia-se que toda a área era propriedade do Conde D'Eu. Em 1893, no entanto, a demolição do casario dá lugar à construção do Túnel João Ricardo, concluído trinta anos mais tarde. O nome do cortiço, porém, persistiu, significando toda e qualquer moradia promiscua daí em diante.

Paralelamente as transformações urbanísticas, projetadas para atender o crescimento da população — a que se juntavam levas de estrangeiros, especialmente depois da Abolição da Escravatura e Proclamação da República — se inicia também um programa de combate às epidemias, sob o comando do sanitarista Oswaldo Cruz. A campanha contra a febre-amarela, peste bubônica, varíola se adequava às idéias de transformar as ruas escuras, mal alinhadas e sem calçamento, numa cidade urbanizada e civilizada. (Tribuna da Imprensa (RJ), 1 de março de 1988)

Em Natal, durante os anos de 1950 e 1960, o plano de desenvolvimento do governo de Juscelino Kubitschek, que impulsionou mudanças significativas na cidade do Natal e em outras cidades brasileiras, conferiu-lhes novas características urbanas. Este plano visava posicionar o Brasil como uma nação industrializada. Um elemento central dessa iniciativa foi a construção de Brasília, que serviu para conectar regiões distantes mediante uma extensa rede rodoviária, impulsionando assim o desenvolvimento nacional. Brasília, enquanto eixo irradiador de um novo conceito urbano, tornou-se uma referência importante para o planejamento urbano de diversas cidades. Para concretizar essa visão de modernização, considerou-se essencial “o passado ou tudo que a ele se referisse”. Silveira (2011, p. 8) destaca que a estratégia de transformação foi aplicada a todas as estruturas urbanas, e os templos católicos também foram objeto de redesign em suas formas, um processo que ocorreu desde o início dos anos 1940 até o final dos anos 1960.

Na metade do século XX, havia um debate arquitetônico sobre qual estilo deveria ser adotado para novos templos religiosos, de acordo com Silveira (2011, p.34). De um lado, o modernismo ganhava força e aceitação; de outro, persistiam as abordagens acadêmicas e ecléticas tradicionais. Em Natal, capital do Rio Grande do Norte, esse conflito estético se manifestou concretamente nos projetos para a construção de uma nova catedral metropolitana entre as décadas de 1950 e 1970, planejada para ser edificada na então Praça Pio X.

Em uma série de publicações sobre “A nova história de Natal”, Itamar de Souza (2001, p.01) intitulada “Av. Deodoro”, em que apresenta a Praça Pio X que se destaca por ser o palco de implantação das tentativas e até conclusão da Catedral de Natal. Ressaltado por Souza (2001, p. 406) como a construção mais importante da Avenida, em meados dos anos 1950, a quarta tentativa promovida por Dom Eugenio de Araujo Sales, então bispo auxiliar da arquidiocese de Natal. Que mandou produzir uma nova planta e mobilizando o sonho da cidade, até então em expansão:

Construção da Nova Catedral de Natal

BREVEMENTE REUNIR - SE-A' A COMISSÃO ENCARREGADA DE TRATAR DO ASSUNTO

Dentro em breve, dom Eugenio Sales, Bispo Auxiliar desta Arquidiocese, fará reunir a comissão encarregada de tratar de assuntos relativos á construção da nova Catedral Metropolitana, que deverá ser levantada na praça Pio X, em terreno pertencente á Arquidiocese. A notícia teve simpática repercussão em todos os meios sociais do Estado, pois de há muito que a nossa capital está a exigir um templo moderno e com capacidade para atender se sempre crescente números de fieis. Oportunamente, daremos novos informes sobre o assunto.(O Poti, 25 março de 1955)

O projeto desenvolvido para a Nova Catedral foi de autoria do arquiteto Calixto de Jesus Neto, que de acordo com Souza (2001, p. 464) “Projetou um templo para duas mil pessoas sentadas e 4 mil em pé, medindo 10 por 72 metros, um altar-mor no centro da nave principal e outros altares laterais, duas torres e uma fachada imponente.

Para tal construção, no decorrer do ano de 1956, concomitantemente à elevação dos alicerces, emergiram iniciativas oriundas de segmentos sociais externos aos núcleos decisórios envolvidos na construção da Catedral, tais mobilizações constituíam-se de variadas campanhas arrecadatórias, cujos recursos destinavam-se tanto à conclusão de etapas construtivas quanto à aquisição ou desenvolvimento de artefatos litúrgicos. Dentre as estratégias implementadas, destaca-se a parceria estabelecida com o Cine Rio Grande, que promoveu sessões cinematográficas do filme “Condessa Descalça” (1954), cuja bilheteria foi integralmente revertida em benefício da edificação da Catedral (O Poti, 18 de maio de 1956). Ressalta-se, ainda, a prática de publicação periódica de relatórios financeiros que discriminavam os auxílios recebidos e a aplicação dessas contribuições (O Poti, 12 de abril de 1956), configurando um mecanismo de transparência e prestação de contas à comunidade doadora.

Ao longo dos levantamentos na hemeroteca digital, foi mapeado que anteriormente ao estilo neorromânico, havia outro projeto imaginado para a Catedral — neogótico do arquiteto francês George Maunier — que, mesmo seguindo o estilo adotado em outras igrejas de cidades brasileiras no início do século XX, chega em terras natalenses denotando uma estética já tida como superada, pesada e incoerente com a identidade nacional e local, como podemos observar no excerto do jornal:

Solucionado o caso do terreno, vem o problema da planta do magestoso edificio, que será mesmo uma construção grandiosa, capaz de impressionar, embora a sua conclusão se faça lentamente. E nisto estão certos os promotores do movimento. Para fazer, sómente convem fazer bom. D. Eugenio Sales já ouviu a opinião de muitas pessoas, de engenheiros e architectos, todos acordes em que o estilo gótico, apesar de tradicional e o classico dos temples católicos, torna-se atualmente muito “pesado” para o nosso meio-ambiente. Além de construção elevada, mais do que os estilos modernos, de cimento armado, o gótico fica deslocado na paisagem brasileira, notadamente no nordeste. É mais um estilo europeu. E o impasse será contornado, com umas modificações na estrutura externa do prédio, permanecendo as primitivas divisões internas.(O Poti, 6 de abril de 1955)

É particularmente notável, uma vez que teve uma parte significativa executada e, posteriormente, abandonada: “[...] o prédio da nova catedral está parado há vários meses. O mato daninho cresce no interior dos muros [...]” (A Ordem, 14 de março de 1964). A ideia foi deixada de lado pela arquidiocese em prol de outros projetos até a solução definitiva, que seria finalmente a atual Catedral de Metropolitana de feições modernistas.

Ocasionada pela cultura política desenvolvimentista, do governo Juscelino Kubitschek, promoveu a crença na eficácia da técnica como elemento instaurador da modernidade. A arquitetura modernista era um ícone desse progresso, e tornou-se consequentemente o anseio de que as cidades tivessem o símbolo da técnica, um elemento propulsor de modernidade: a arquitetura baseada no funcionalismo. A Igreja percebeu que a arquitetura moderna, ao refletir “os progressos da técnica” e a “mentalidade nova”, poderia atrair o “homem moderno” e satisfazer suas “angústias e inquietações”, conforme Revista Eclesiástica Brasileira apud (Silveira, 2011, p. 25) em que com as seguintes passagens daquele período sugere tal pensamento:

A arquitetura religiosa moderna é um fruto de nossa sociedade, dos progressos da técnica, da mentalidade nova: condiz, portanto, com o pensamento do homem moderno, na sua faina de afirmações positivas, na busca de respostas claras e incisivas aos problemas que o torturam (grifo de Silveira, 2011, p. 25)

A igreja é destinada ao Povo de Deus dos nossos dias. Deve portanto ser disposta de modo que os homens da atualidade se sintam atraídos por ela. As mais nobres necessidades do homem do nosso tempo devem encontrar nela a sua satisfação... (grifo de Silveira, 2011, p. 25).

[...] As catedrais, matrizes e capelas que, hoje, se constroem nos devem ajudar a compreender as realidades que nos cercam. Devem-nos ensinar a vencer as lutas atuais e a superar as angústias do momento. E elas devem também transmitir às gerações futuras a nossa mensagem de lutas e de privações, de experiências e de transformações, de fé, de confiança e, sobretudo, sim, sobretudo, de fraternidade cristã (grifo de Silveira, 2011, p. 26).

Apesar do alinhamento litúrgico, houve resistência. Autoridades eclesiais inicialmente demonstraram “reticência” e até “repúdio” à arquitetura modernista, como na Capela da Pampulha (Oscar Niemeyer, 1940), criticada por sua “aberrante concepção arquitetônica e decoração exótica” e por não evocar o recolhimento para a oração, como dito por Dom Antônio dos Santos Cabral, então Arcebispo de Belo Horizonte, que não se omitiu perante a construção daquela edificação.

Esse novo momento no Brasil, destacado por Silveira (2011, v1, p. 52–53), que as igrejas modernistas surgiram como um duplo canal de atribuição de sentido ao mundo, pois não somente atendem às necessidades funcionais da liturgia católica, mas, sobretudo, ao desejo de superação do atraso que as populações dos países e regiões ditas “periféricas” apresentam. Isso reflete no cenário da cidade do Natal, no qual o desejo de modernização estava como uma das prioridades, mas ainda, sim, os jornais apresentam opiniões contrárias ao novo tipo de arquitetura planejada, como podemos verificar no trecho:

“Discute-se o caso da construção da Catedral, iniciada há alguns anos e parada outros tantos, confinando-se atualmente entre várias já em plena atividade. Parece que se trata de uma tomada de opiniões entre autoridades do clero e pessoas leigas interessadas, também, na presença de uma Igreja em condições de substituir a antiga Catedral. É evidente que se pretende dar solução rápida, adotando-se um tipo inteiramente fora dos moldes apropriados. A idéia é infeliz.” (Diário de Natal -RN, 6 set. de 1967).

A arquitetura da Catedral arruinada pode ter influenciado a mudança de opinião em relação à arquitetura da nova Catedral, o que levou à paralisação das obras e ao seu apagão, uma vez que o estilo modernista é destacado nos jornais: “a arquitetura brasileira é considerada a primeira no mundo, na linha modernista” (Diário de Natal, 23 julho de 1959). Tais considerações eram repercutidas enquanto a catedral neorromânica ainda estava em desenvolvimento e anos depois ela parou de ser edificada.

Com isso, a análise da trajetória de construção e posterior demolição da antiga Catedral de Natal evidência as tensões entre tradição e modernidade, demonstrando como estes conflitos se manifestaram no espaço urbano e na percepção coletiva dos habitantes. A implementação da arquitetura modernista, condicionada pelas transformações políticas e eclesásticas do período, produziu alterações consideráveis nas expectativas e interpretações da comunidade quanto ao projeto inicialmente proposto.

A mudança de atitude — do apoio inicial à crítica posterior sobre o abandono da catedral — mostra como as transformações urbanísticas e arquitetônicas tanto influenciam quanto são influenciadas por mudanças socioculturais mais amplas. O caso da catedral inacabada de Natal, portanto, não só representa as complexidades da modernização brasileira em meados do século XX, mas também revela os debates que moldaram o ambiente urbano e a memória social da cidade. Esse processo expressa tanto a aspiração ao desenvolvimento quanto a consequente supressão de elementos históricos.

Em seus escritos, Yablon (2009, p. 368) destaca que a modernidade urbana americana produziu ruínas “intempestivas” de uma forma distinta das convenções europeias, e essas ruínas revelaram muito sobre a natureza do progresso.

Ainda destaca que elas se diferenciavam das ruínas clássicas e góticas europeias, que decaíam graciosamente ao longo dos séculos e inspiravam meditações filosóficas sobre o destino das civilizações. Em contraste, as ruínas americanas surgiam imprevisivelmente e desapareciam antes que pudessem acumular uma aura de antiguidade. Eram frequentemente ruínas modernas de aço e ferro, que emergiam inesperadamente (Yablon, 2009, p.368)

Se caracterizando principalmente por ser inesperada ou prematura, desafiando as noções tradicionais de decadência gradual e de uma ordem previsível da história. Elas se distinguem por diversas características, frequentemente ligadas à modernidade e à intervenção humana, como o caso da catedral neorromânica em Natal que, assim como outras obras, que estavam sendo construídas durante alinhamento litúrgico e logo passa para outro. Mesmo por um breve período antes de serem removidas, adquiriam o simbolismo e a forma das ruínas clássicas, usadas para narrativas sobre progresso ou denúncias sociais, e refletindo as disputas e sensibilidades da modernidade urbana.

Conclusão

Dado o exposto, as análises dos casos estudados revelam que os processos de demolição e formação de ruínas nas cidades brasileiras vão além de simples decisões técnicas ou urbanísticas, representando disputas simbólicas e culturais sobre modernidade e memória coletiva. O cortiço “Cabeça de Porco”, no Rio de Janeiro, e a Catedral Neorromânica de Natal demonstram como diferentes períodos históricos utilizaram discursos de progresso, higienização e funcionalidade para justificar o apagamento de estruturas consideradas obsoletas ou incompatíveis com os novos ideais urbanos.

Os jornais tiveram um papel fundamental na construção dessas histórias, atuando como agentes ativos na validação ou questionamento das intervenções. As ocorrências não somente registraram os acontecimentos, mas também contribuiu para moldar sensibilidades sociais e arquitetônicas, evidenciando tensões entre tradição e inovação e preservação. Nesse cenário, as ruínas da catedral neorromânica aparecem como vestígios inesperados – como sugere Yablon (2009, p.368) – mostrando as contradições do processo de modernização e refletindo as disputas pelo imaginário das cidades.

O estudo ressalta a importância de sobre o patrimônio urbano brasileiro, mostrando que a modernização envolveu não somente transformações materiais, mas também a redefinição dos significados atribuídos ao espaço construído. Esta pesquisa ajuda a compreender como as práticas de demolição e reconstrução contribuíram para formar novas identidades urbanas e consolidar políticas de memória e esquecimento na paisagem das cidades brasileiras.

Por fim, cabe destacar a importância de pesquisas cataloguem essa fonte recém-iluminada (atas do legislativo municipal), aumentando o acervo e realizando análises direcionadas para fomentar a documentação histórica do período e acesso ao acervo da arquidiocese para a documentação sobre a catedral neorromânica de Natal. Outrossim, ainda cabe destacar a dificuldade no acesso ao acervo da arquidiocese para catalogar ocorrências acerca da catedral neorromânica.

Referências

ANDREATTA, Verena. **Cidades Quadradas, Cidades Mistas: notas sobre o urbanismo e a questão social no Rio de Janeiro (1893-1945)**.2011. Tese (Doutorado em Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

CÂNDIDO, Antônio. **Literatura e Sociedade. Rio de Janeiro: Ouro sobre Azul**, 2006.

CHARTIER, Roger. **A História Cultural – entre práticas e representações**. Lisboa: DIFEL, 1990 [original: 1982].

FOUCAULT, Michel. **História da sexualidade: A vontade de saber (12a ed.)**. Rio de Janeiro, RJ: Graal. Apud MBEMBE, Achille. *Necropolítica*. São Paulo: n-1 edições, 2018.

GINZBURG, Carlo. **Mitos, Emblemas e Sinais: morfologia e história.** Tradução de Federico Carotti; São Paulo: Companhia das Letras, 1991.

PESAVENTO, S. J. **Crônica: A leitura sensível do tempo. Anos 90, 5(7), 29–37.** 1997

RAGO, Margareth. **Do cabaré ao lar: a utopia da cidade disciplinar, Brasil 1890-1930.** Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1998.

SILVEIRA, Marcus Marciano Gonçalves da. **Templos modernos, templos ao chão: a trajetória da arquitetura religiosa modernista e a demolição de antigos templos católicos no Brasil / Marcus Marciano Gonçalves da Silveira.** — Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2011. -- (Coleção Historiografia de Minas Gerais. Série Universidade).

SOUSA, Rebeca Grilo de. **Escombros e vestígios: os debates sobre os arrasamentos nas reformas urbanas das cidades brasileiras (Rio de Janeiro, São Paulo e Recife no início do século XX).** 2016. 208f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

SOUSA, Rebeca Grilo de. **URBICÍDIO: a destruição material da cidade como prática violenta de amnésia social [Tese].** Local: Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PPGAU/UFRN, 2025. No prelo.

YABLON, Nick. **Untimely Ruins: An Archaeology of American Urban Modernity, 1819–1919.** Chicago: University of Chicago Press. 2009.

Fontes Primárias:

A NOITE. Rio de Janeiro. 1990-1999. Disponível em: <http://memoria.bn.gov.br/DocReader/348970_06/6455>

A ORDEM. Natal. 1950-1979. Disponível em: <<http://bndigital.bn.br/hemeroteca-digital/>>.

DIÁRIO DE NATAL. Natal. 1950–1979. Disponível em: <<http://bndigital.bn.br/hemeroteca-digital/>>.

O POTI. Natal. 1950–1979. Disponível em: <<http://bndigital.bn.br/hemeroteca-digital/>>.

TRIBUNA DA IMPRENSA. Rio de Janeiro. 1880-1890. Disponível em: <http://memoria.bn.gov.br/docreader/110523_04/11754>

CÓDIGO: HS1553

AUTOR: TAINÁ ROMANO PINHEIRO DANTAS

ORIENTADOR: CLARA OVÍDIO DE MEDEIROS RODRIGUES

TÍTULO: ACOMPANHAMENTO DE PROCESSOS PROJETUAIS COM METAS DE RESILIÊNCIA EM CONTEXTOS DE CLIMAS FUTUROS

Resumo

O aumento da frequência de eventos climáticos extremos e suas consequências, como a interrupção no fornecimento de energia, tornam a resiliência uma meta indispensável para o setor de edificações, responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa. Este artigo teve como objetivo geral auxiliar no desenvolvimento de processos de projeto para atendimento de metas de resiliência, identificando diretrizes projetuais para edifícios comerciais em Caicó/RN, no contexto de climas futuros. A metodologia partiu da geração de arquivos meteorológicos futuros para 2020, 2050 e 2080 com a ferramenta CCWorldWeatherGen, baseada no cenário A2 do IPCC, e da aplicação de uma análise de sensibilidade para quantificar o impacto de variáveis arquitetônicas no desempenho energético. Os resultados revelaram uma clara evolução nas prioridades de projeto ao longo das décadas, com uma transição de estratégias focadas no controle da radiação solar, para uma priorização do desempenho do isolamento térmico das envoltórias. Conclui-se que projetar com base apenas no clima atual não é o ideal para atender as metas de desempenho energético, sendo a análise de cenários futuros essencial para definir diretrizes resilientes que garantam o desempenho e o conforto das edificações ao longo de seu ciclo de vida.

Palavras-chave: mudanças climáticas; arquitetura bioclimática; simulação energética; n

TITLE: SUPPORTING DESIGN PROCESSES TO MEET RESILIENCE GOALS IN FUTURE CLIMATE CONTEXTS

Abstract

The increasing frequency of extreme weather events and their consequences, such as power outages, make resilience an indispensable goal for the building sector, which is responsible for a significant share of greenhouse gas emissions. This article's main objective was to assist in the development of design processes to meet resilience goals by

identifying design guidelines for commercial buildings in Caicó, RN, Brazil, in the context of future climates. The methodology involved generating future weather files for 2020, 2050, and 2080 using the CCWorldWeatherGen tool, based on the IPCC's A2 scenario, and applying a sensitivity analysis to quantify the impact of architectural variables on energy performance. The results revealed a clear evolution in design priorities over the decades, with a transition from strategies focused on controlling solar radiation to a prioritization of the thermal insulation performance of building envelopes. It is concluded that designing based solely on the current climate is not ideal for meeting energy performance goals, and that the analysis of future scenarios is essential for defining resilient guidelines that ensure the performance and comfort of buildings throughout their life cycle.

Keywords: climate change; bioclimatic architecture; energy simulation; northeast

Introdução

A mudança climática emerge como um dos maiores desafios da nossa era, marcada pelo aumento da frequência e da intensidade de fenômenos extremos, como inundações e ondas de calor. Tais eventos são frequentemente seguidos por outras consequências, a exemplo da interrupção no fornecimento de energia (Attia et al, 2021; IPCC, 2023). O aumento das emissões de gases de efeito estufa são identificadas como uma das principais causas do aquecimento global e, consequentemente, das mudanças climáticas (IPCC, 2023). A redução da emissão de gases de efeito estufa pode ser possibilitada por meio do incentivo de políticas públicas de mitigação voltadas para os maiores emissores (Barbieri; Viana, 2013) como, por exemplo, o setor imobiliário, o qual totaliza 42% das emissões de carbono relacionadas à energia (IEA, 2023, apud Bethônico, 2024).

Dessa maneira, torna-se indispensável compreender o impacto que a arquitetura e a construção civil possuem tanto na construção de novas edificações quanto na resiliência e sustentabilidade das cidades. As decisões tomadas possuem influência na utilização de recursos e consumo energético, sua análise pode viabilizar uma gestão inteligente desses recursos, bem como uma adaptação equilibrada às condições climáticas do ambiente existente o qual estão sendo inseridas. associar

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) indica, ainda, que a redução na emissão de gases de efeito estufa relativa a edifícios pode chegar a 66%. Para que isso ocorra, este mesmo relatório aponta que um dos caminhos a serem seguidos é a busca pela resiliência. Corroborando com essa perspectiva, diversas pesquisas sobre a temática estão em curso. Tais estudos abrangem desde compreender a geração de cenários climáticos para avaliar o desempenho de edificações no Brasil (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015) até investigar estratégias de resfriamento resilientes para proteger os ocupantes de eventos extremos (ATTIA et al., 2021). a fim de identificar as características projetuais as quais se adequam aos climas futuros e aos aspectos relacionados à resiliência -como flexibilidade, adequação, e conforto ambiental, por exemplo. No entanto, ainda não está claro como o processo de projeto pode ser organizado de modo a favorecer que a resiliência seja atendida, como meta de projeto.

Esse artigo faz parte de uma pesquisa maior, cujo objetivo geral é auxiliar no desenvolvimento de processos de projeto para atendimento de metas de resiliência no contexto de climas futuros. Dessa forma, foca-se na primeira parte da pesquisa, na qual, busca-se identificar as diretrizes projetuais para uma cidade do Nordeste do país. Levando em consideração este objetivo, foi delimitado como recorte desta pesquisa a adaptação da cidade seridoense, Caicó/RN, às mudanças climáticas, a fim de compreender como os climas futuros deste universo podem indicar diretrizes projetuais. Dessa forma, espera-se que em uma fase posterior da pesquisa, essas diretrizes possam ser utilizadas em processos de projeto, viabilizando sua análise.

Metodologia

Para o desenvolvimento desta pesquisa, torna-se necessário explorar alguns conceitos e interpretações importantes sobre resiliência observados em estudos prévios, a fim de alinhar o embasamento teórico o qual fundamentará este trabalho e evitar divergências conceituais. Com isso, foi necessário realizar uma breve revisão literária, sendo revisto conceitos relacionados à definição de resiliência, principalmente na arquitetura, visando compreender a sua influência no processo projetual e desempenho térmico e lumínico das edificações a longo prazo. Além disso, será importante compreender a relevância atual desta temática para a arquitetura. Nesse sentido, além da busca pela definição do conceito de resiliência, foi realizada uma revisão sistemática dos artigos publicados no evento Passive and Low Energy Architecture (PLEA) 2024 (Figura 01), cujo tema era resiliência na arquitetura, foram encontrados diversas aplicações de resiliência diferentes na área de arquitetura e urbanismo. Analisando os resumos dos textos do item 3.2 Architecture for human resilience and well-being (arquitetura para resiliência e bem-estar humano), e utilizando como critério de exclusão textos que falavam sobre ambiente urbano, climas frios, ambiente externo, ou não abordassem diretamente a resiliência, foram encontrados 9 artigos relevantes para a presente pesquisa.

Na revisão bibliográfica, também buscou-se informações sobre os climas futuros, na tentativa de identificar tanto os climas futuros que já foram gerados em pesquisas anteriores, quanto os procedimentos necessários para que fosse possível gerá-los.

A fase seguinte focou nos procedimentos para geração dos arquivos e posterior sistematização dos dados bioclimáticos do universo de estudo, a fim de compreender a sua dinâmica e, assim, analisar as diretrizes mais adequadas para o planejamento de uma edificação mais resiliente e adequada tanto ao clima atual quanto aos climas futuros da cidade de Caicó/RN. Para isso, foi realizada a avaliação e indicação de medidas de adaptação durante o processo projetual para o desenvolvimento de edificações mais resilientes, focando, especificamente, na análise do desempenho energético de edificações comerciais.

Para a elaboração de arquivos meteorológicos futuros para a cidade de Caicó/RN, foi necessário explorar os cenários de projeções climatológicas futuras. Dessa forma, adotou-se o uso da ferramenta Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data (CCWorldWeatherGen), proposta por Jentsch, Bahaj e James (2008), o qual utiliza

o cenário A2 do terceiro relatório do IPCC (2001). O uso dessa ferramenta justifica-se por ser gratuita e simplificada. Embora o IPCC (2022) já possua uma abordagem mais recente para a obtenção de cenários climatológicos futuros - a Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), o uso do cenário A2 ainda possui uma alta representatividade do cenário mundial atual (Triana, 2017). Isso porque, no Brasil, ainda não há uma grande disponibilidade de dados regionais sobre os climas futuros e, de acordo com Jentsh (2013) até que mais dados estejam disponíveis, os arquivos meteorológicos produzidos com a ferramenta CCWorldWeatherGen podem ser usados para uma abordagem prática ao estudo dos impactos das mudanças climáticas nas edificações.

Para alimentar a ferramenta CCWorldWeatherGen, foi utilizado o arquivo climático de Caicó/RN, no formato INMET, disponível no LABEEE, cujo o ano está dentro do período de 1961 a 1990, de acordo com a recomendação da ferramenta. Os arquivos foram convertidos para EPW, seguindo a metodologia da ferramenta em Jentsch (ref 16 triana), considerando os climas futuros de 2020, 2050 e 2080. A partir disso, foi utilizada a ferramenta climate consultant, a qual traduz dados climáticos brutos no formato EPW em exibições gráficas, como gráficos e tabelas.

Para compreender de qual maneira os climas futuros podem indicar diretrizes para o processo projetual, foi utilizado como ferramenta um aplicativo interativo o qual quantifica o impacto das decisões projetuais no desempenho energético para diferentes climas, decorrente do mestrado acadêmico de Carvalho (Allyson, 2024). O aplicativo permite acessar as variáveis mais sensíveis para a carga térmica de resfriamento da edificação, com base no metamodelo do INI-C e em análises de sensibilidade global pelo método de Sobol (Allyson, 2024).

Os resultados demonstram todas as combinações possíveis da zona térmica em análise para as variáveis: pé-direito, largura da zona térmica, percentual de abertura na fachada, ângulo horizontal de sombreamento, ângulo vertical de sombreamento, ângulo de obstrução vizinha, transmitância e capacidade térmica para piso, parede internas, paredes externas e cobertura, absorvância para paredes externas e cobertura, fator solar da janela e transmitância da janela.

A realização das simulações considerou a zona térmica com orientação para o Norte e com tipologia de escritório. Optou-se por fixar apenas as variáveis de pé-direito com 3,5m e o ângulo de obstrução vizinha com 15° (Figura 01). Também foram consideradas quatro situações, sendo elas: térreo sem cobertura, térreo com cobertura, intermediário e cobertura. Com isso, foi possível observar as alterações das projeções climáticas do clima atual, e climas futuros em ambas as variáveis, proporcionando dezesseis gráficos de simulações climáticas a serem analisados a fim de fornecer informações às quais embasem diretrizes projetuais iniciais adequadas a projetos dessa natureza.

Resultados e Discussões

Para a Organização das Nações Unidas (ONU) a resiliência pode ser definida em seu termo geral como “a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta a

perigos para resistir, absorver, acomodar, adaptar-se transformar-se e recuperar-se dos efeitos de um perigo de uma forma oportuna e eficiente, inclusive por meio da preservação e restauração de suas estruturas e funções básicas essenciais através da gestão de riscos”. No que diz respeito à conceituação da resiliência relacionada ao meio ambiente, esta foi proposta por Holling (1973) como uma forma de entender a capacidade dos ecossistemas em absorver mudanças ou, mais especificamente, como persistir no desenvolvimento no estado original sujeito a perturbações e condições mutáveis, definindo a resiliência como um estado de persistência.

Na revisão sistemática dos artigos publicados no evento PLEA 2024 (Figura 02), o tipo mais comum de textos encontrados foram os que comentam sobre o desempenho de edifícios, aplicados a eficiência energética e resiliência; e estratégias de arquitetura relacionadas à resiliência e bem estar dos ocupantes, com 11 textos que se encaixam nessa categoria. Outros temas observados com frequência são sobre resiliência em escolas e relação pessoa ambiente, com 7 textos cada; conceitos relacionados à resiliência, e textos sobre o ambiente urbano, ambos com 6; avaliação de projetos e resiliência no contexto de HIS com 5; e outros temas diversos, como sustentabilidade, desempenho de materiais e hospitais, com 2 a 3 textos. Um mesmo texto pode se encaixar em mais de uma denominação.

A revisão sistemática dos artigos publicados no evento PLEA 2024 permitiu mapear o panorama atual das pesquisas sobre o tema. A partir desta análise, foi possível compreender diferentes estudos sobre o desempenho de edifícios aplicado à eficiência energética e resiliência, além de estratégias de arquitetura relacionadas ao bem-estar dos ocupantes. Dessa forma, esses estudos forneceram embasamento teórico para situar a discussão sobre climas futuros dentro das aplicações correntes do conceito de resiliência na área da arquitetura.

Dentro dos aspectos da resiliência, é importante compreender a atuação dos climas futuros, pois é compreendendo os cenários futuros relacionados às mudanças climáticas que torna-se possível planejar medidas as quais permitam melhorar o desempenho térmico e energético das edificações. Isso porque, segundo pesquisas recentes de Triana, Lamberts e Sassi (2015), foi observado desempenho térmico e energético médio e especialmente baixo para projetos representativos do setor de baixa renda em relação a Etiquetagem Energética Brasileira, o que influencia diretamente no conforto dos usuários e demonstra a urgência em se pensar o ambiente construído a partir do desempenho futuro das construções.

Os arquivos meteorológicos mais atuais usados para simulação de edificações no Brasil são provenientes de dados entre 1961 e 1990, ou, se mais recentes, de 1976 a 2005, o que não reflete as tendências das mudanças climáticas (Triana, 2017). Para a análise de impactos, o IPCC estabelece cenários futuros relacionados às mudanças climáticas, que permitem avaliar alternativas de mitigação ou adaptação (Triana, 2017).. Em 1996, um conjunto de cenários (SRES) foi desenvolvido e usado no terceiro e quarto relatório do IPCC, estes criaram quatro cenários (A1, A2, B1 e B2), baseados em narrativas demográficas, socioeconômicas e tecnológicas (Triana, 2017). No quinto relatório do IPCC, o AR5, publicado em 2014, decidiu-se adotar um novo conjunto de cenários produzidos pela comunidade científica, substituindo os SRES, sendo eles chamados de RCPs (Representative Concentration Pathways), e a sua principal diferença estava no

nível de força radioativa em 2100, ao invés de serem baseados em narrativas socioeconômicas como os SRES. Atualmente, a nova abordagem IPCC provém do sexto e mais recente relatório, o AR6, o qual baseia-se em um conjunto de cinco caminhos socioeconômicos compartilhados ((Shared Socioeconomic Pathways - SSPs), e refletem um avanço na modelagem climática. Entretanto, a disponibilização de projeções climáticas regionalizadas para o Brasil baseadas nesse modelo já tenham se iniciado, esse ainda é um campo em desenvolvimento, tornando a utilização da metodologia morphing com cenários mais antigos (como o SRES A2) mais realista ao momento atual de desenvolvimento desta pesquisa.

Foi desenvolvido um método de morphing por Jentsch, Bahaj e James (2008) com o intuito de adaptar arquivos EnergyPlus Weather (EPW) e incorporar a estes previsões de mudanças climáticas. Para isso, foi desenvolvida a ferramenta CCWorldWeatherGen, citada anteriormente, a qual permite a geração destes arquivos meteorológicos futuros para qualquer lugar do mundo -e que foi, inclusive, a ferramenta utilizada para gerar as previsões climáticas neste artigo em questão-.

Considerando os climas obtidos para Caicó-RN, foram elaboradas cartas psicrométricas (Figura 03) tanto do clima atual, quanto dos climas futuros, para uma análise comparativa.

Ao observar as cartas psicrométricas, é importante analisar, no decorrer das décadas, a direção de deslocamento da nuvem de pontos. Isso porque ocorre uma mudança significativa da concentração de pontos vermelhos, ou seja, das horas de desconforto, para a direita. Embora a porcentagem de horas de conforto natural seja praticamente a mesma em 2020 e em 2080, isto é, cerca de quarenta e quatro por cento (44%), observa-se que no cenário de 2080 há uma concentração muito maior de horas acima de 30°C, e uma cauda de pontos vermelhos que se estende para além dos 40° bem mais significativa do que o que estava presente no cenário de 2020, além de que a quantidade de pontos presentes no cenário de desconforto abaixo dos 23°C reduz-se significativamente com o passar das décadas.

Além da análise realizada a partir das cartas psicrométricas, optou-se por observar, também, os valores diários do clima anual de Caicó (Figura 04), tanto para o clima atual quanto para o clima futuro, a fim de realizar uma análise comparativa sobre como a temperatura, umidade relativa e radiação solar ao longo do ano.

No que diz respeito à projeção de temperatura, representada nas primeiras faixas, pela cor azul, em todos os quatro cenários posteriormente apresentados na Figura 04, é possível observar que esta subiu progressivamente a cada cenário. Ao ser observado o cenário atual, por exemplo, a base da variação diária fica em torno de 22°C, com os picos de calor chegando a 38°C. Com o passar das décadas, observa-se, já no clima futuro de 2050, que a base sobe para cerca de 23°C-24°C, com os picos de calor chegando a 41°C. Ao chegar, enfim, ao último cenário, é possível observar que os picos de calor já chegam a 42°C, uma mudança considerável para os dias atuais, tornando o estresse térmico constante e maior nas edificações no decorrer dos anos.

A umidade relativa, representada pela faixa verde em todos os cenários climáticos, apresenta relativa estabilidade. No que diz respeito a radiação solar, a intensidade da radiação tende a aumentar de maneira sutil ao longo das décadas. Enquanto na atualidade

observa-se uma máxima de 900 Wh/m², nas projeções climáticas futuras essa máxima se mantém constante em 1100 Wh/m², sendo observado também um aumento da radiação de Maio a Setembro, mantendo-se constante durante todo o ano, o que não é observado na atualidade, visto que ocorre atualmente ocorre uma queda da radiação nesse período, a qual se mantém em uma média de 600 Wh/m².

A partir dos dados fornecidos pelas projeções climáticas, torna-se possível que o arquiteto analise as diretrizes projetuais para edificações comerciais, condicionadas artificialmente, no clima de Caicó/RN, considerando tanto o clima atual quanto os futuros, a fim de desenvolver uma edificação sustentável energeticamente e resiliente. A fim de colaborar com esse intuito, essa pesquisa realiza a análise de diretrizes a partir de uma ferramenta desenvolvida por Carvalho (2023) com o intuito de apoiar decisões de projeto durante as fases de pré-projeto, a partir da quantificação do impacto das decisões arquitetônicas nas cargas térmicas e no desempenho energético para um clima específico.

Ao serem analisadas as simulações climáticas do pavimento térreo sem cobertura (Figura 05), foi possível observar uma transição significativa entre as variáveis prioritárias a serem consideradas ao longo das décadas, o que reforça a necessidade de se pensar em uma edificação pensando não somente no agora, mas em sua adaptação às mudanças climáticas. Isso pode ser observado ao analisar-se que, no cenário climático atual, o ângulo vertical de sombreamento atua como a variável de maior influência, indicando que a redução da exposição de áreas envidraçadas à radiação solar direta seria uma das principais estratégias a serem adotadas para o desempenho energético. Todavia, nos cenários futuros, observa-se uma inversão dessa tendência, em que a importância relativa do sombreamento diminui, enquanto a transmitância térmica da parede externa e da janela se tornam os fatores mais sensíveis e dominantes. Assim, o sombreamento continua a ser uma estratégia essencial, mas a qual deve ser combinada com uma envoltória de baixa transmitância térmica. Adicionalmente, a largura da zona térmica aumentou significativamente com o passar das décadas, dobrando a sua influência até 2080, o que influencia diretamente na forma de se pensar a volumetria das edificações, visto que a redução da superfície de contato com o exterior é recomendada, o que sugere edificações mais compactas.

Observando as simulações climáticas realizadas para os climas do pavimento térreo com cobertura (Figura 06), observa-se uma complexa interação entre as variáveis, visto que a cobertura exerce grande influência nesse cenário, e há uma notável evolução das prioridades de projeto nos cenários futuros. Isso porque, no clima atual, a absorvância da cobertura exerce a influência mais significativa. Com o avanço das décadas, embora a relevância desta variável se mantenha, a transmitância térmica da cobertura torna-se a variável de maior impacto na totalidade. Adicionalmente a estas, a análise apresenta uma sensibilidade crescente dos índices de largura de zona térmica, transmitância térmica da janela e, de forma mais moderada, o ângulo vertical de sombreamento.

No que diz respeito ao pavimento intermediário (Figura 07) e as simulações climáticas deste, assim como nas anteriores, observam-se variações bastante consideráveis para as diretrizes projetuais ao longo das décadas. No clima atual, a variável predominante a ser considerada é o ângulo vertical de sombreamento, que apresenta um índice de sensibilidade total de 0,6, estabelecendo o controle da radiação solar direta, por meio de beirais ou marquises, por exemplo, como o fator mais crítico. No entanto, ao observar os

climas futuros, houve um decréscimo considerável dessa variável, chegando a um índice de apenas 0,075 em 2080. Em contrapartida, a transmitância térmica da janela, que no cenário atual possui influência próxima de zero, cresce de modo expressivo ao longo das décadas, tornando-se a variável de maior impacto em 2080, com um índice superior a 0,3. De forma similar, a transmitância térmica da parede externa, pouco representativa atualmente, ganha expressividade no cenário de 2020 e, apesar de ter decrescido posteriormente, permanece como uma das variáveis mais importantes nos cenários seguintes. Observar essa dinâmica torna possível avaliar que para os pavimentos intermediários, é importante analisar como diretriz o isolamento térmico da fachada, com destaque especial para a especificação de vidros com baixa transmitância térmica, para direcionar a construção da edificação a resiliência climática futura de forma mais assertiva.

Por fim, o último cenário a ser avaliado foi o pavimento da cobertura (Figura 08). Na atualidade, a absorptância da cobertura se configurou como o maior índice de sensibilidade, o que traz a atenção para o impacto que o controle da radiação solar na superfície exerce como diretriz projetual e, embora esta variável tenha um decréscimo considerável nas décadas seguintes, permanece como um fator relevante. Além desta, é possível observar a relevância da transmitância térmica da cobertura, a qual torna-se o principal e mais influente parâmetro a partir do cenário de 2020, mantendo a dominância até 2080 com um índice superior a 0,25. Adicionalmente, consideradas praticamente irrelevantes no clima atual, a transmitância térmica da parede externa e da janela tornam-se duas das principais variáveis a serem consideradas a partir de 2020, crescendo de forma constante no decorrer das décadas, tornando importante adotar como diretriz não somente um isolamento térmico superior na cobertura, como também nas paredes e janelas.

Assim, sendo feita a análise destes cenários climáticos, é possível compreender de forma mais direcionada diretrizes para o desenvolvimento de projetos para Caicó/RN. Observa-se, no geral, a transição de estratégias focadas primariamente no controle da radiação solar para uma priorização de estratégias de escolhas de materialidades que atuem a partir do desempenho do isolamento térmico, sendo importante a combinação destes fatores para o desenvolvimento de projetos confortáveis aos habitantes tanto no clima atual, quanto nos climas futuros.

Conclusão

A presente pesquisa partiu do objetivo de auxiliar no desenvolvimento de processos de projeto com metas de resiliência, identificando diretrizes projetuais para edificações comerciais, condicionadas artificialmente, em Caicó/RN, frente aos cenários de climas futuros. A análise das projeções climáticas traz o olhar para o aumento progressivo das temperaturas médias e dos picos de calor, além de uma maior intensidade da radiação solar.

Ao realizar as simulações tanto do clima atual quanto dos climas futuros no aplicativo desenvolvido por Carvalho (2024), auxiliou em um entendimento mais claro de diretrizes projetuais para a tomada de decisões as quais colaborem no desenvolvimento de projetos

mais resilientes ao clima de Caicó/RN. Visto que, a partir das dezesseis simulações climatológicas realizadas nesta etapa da pesquisa, foi possível observar informações cruciais, como compreender, por exemplo, que o controle da radiação se mostra a diretriz mais impactante para o clima atual, mas deve ser alinhado com estratégias projetuais de isolamento térmico, por serem igualmente importantes para os climas futuros.

Reconhece-se, contudo, as limitações deste estudo, que se concentrou na metodologia de geração dos arquivos meteorológicos futuros. O processo parte de dados climáticos históricos do período entre 1961 e 1990, conforme a recomendação da ferramenta utilizada. Adicionalmente, as projeções foram elaboradas com a ferramenta CCWorldWeatherGen, que se baseia no cenário A2 do terceiro relatório do IPCC, de 2001. Embora relatórios mais recentes do IPCC (2022) já utilizem cenários atualizados, como os RCPs e SSPs, a escolha metodológica se justifica pela limitada disponibilidade de dados regionais de climas futuros para o Brasil baseados nessas novas abordagens. Portanto, apesar de o método adotado proporcionar uma abordagem prática e relevante para a análise de resiliência, reconhece-se que a incorporação de projeções baseadas nos cenários mais recentes do IPCC constitui um passo importante para futuros aprofundamentos, à medida que tais dados se tornem mais acessíveis para a região de estudo.

Finalmente, conclui-se que estas constatações colaboram para a temática, pois demonstram que projetar com base apenas nos parâmetros atuais para o clima é insuficiente para garantir o desempenho a longo prazo. Conclui-se, portanto, que a análise de sensibilidade com projeções de climas futuros é uma ferramenta indispensável para formular diretrizes projetuais assertivas ao ambiente construído, a fim do desenvolvimento de edificações resilientes às mudanças climáticas.

Referências

ATTIA, Shady et al. Resilient cooling of buildings to protect against heat waves and power outages: Key concepts and definition. *Energy and Buildings*, v. 239, p. 110869, maio 2021.

BARBIERI, J. E.; VIANA, D. de A. Políticas públicas para a sustentabilidade. In: BARBIERI, J. E. (Org.). *Políticas públicas e desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Alínea, 2013.

BETHÔNICO, Thiago. Autor(a): Thiago Bethônico | Folha. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/autores/thiago-bethonico.shtml>. Acesso em: 3 maio 2025.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 4, n. 1, p. 1-23, 1973.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate change 2023: synthesis report. Geneva: S.n., 2023.

INTERNATIONAL PLEA CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 37., 2024, Wrocław. Re-thinking Resilience: Book of Abstracts. Wrocław: Wrocław University of Science and Technology Press, 2024.

JENTSCH, M. F. et al. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. *Renewable Energy*, v. 55, p. 514–524, jul. 2013.

JENTSCH, M. F., BAHAI, A. S., & JAMES, P. A. B. (2008). Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Buildings*, 40(12), 2148-2168.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Documentos temáticos: objetivos de desenvolvimento sustentável. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/br/8a5a609e37e0749c4b85fd771e7eb075d805c9356136439d07053e461718c7c7.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

TRIANA, Maria A.; LAMBERTS, Roberto; GOULART, Stefano S. de G. S. Climas futuros no Brasil: o uso do morphing para análise do desempenho térmico de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12. e 8., 2013, Brasília. Anais... Brasília: ANTAC, 2013.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. *Energy Policy*, v. 87, p. 524–541, dez. 2015.

Anexos



Figura 01: Valores fixos de entrada definidos no aplicativo de suporte à tomada de decisões projetuais para atendimento de metas de desempenho energético



Figura 02: Revisão sistemática de artigos publicados no PLEA 2024



Figura 03: Carta Psicrométrica de Caicó/RN



Figura 04: Climats Futuros de Caicó/RN: Clima Anual



Figura 05: Simulações climáticas do pavimento térreo sem cobertura



Figura 06: Simulações climáticas do pavimento térreo com cobertura



Figura 07: Simulações climáticas do pavimento intermediário



Figura 08: Simulações climáticas da cobertura

CÓDIGO: HS1562

AUTOR: CLEANTO FELIPE OLIVEIRA SILVA

ORIENTADOR: ANNA RACHEL BARACHO EDUARDO JULIANELLI

TÍTULO: Valores da paisagem: inventário e identificação de atributos patrimoniais das praças do Centro Histórico de Natal-RN

Resumo

Esta pesquisa aborda um olhar específico e ampliado para as praças do Centro Histórico de Natal, considerando permanências e transformações, sobretudo após o tombamento realizado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), em 2010. Trata-se de um recorte de pesquisa e dá continuidade a estudos anteriores sobre os jardins públicos natalenses e a paisagem nos bairros da Cidade Alta e Ribeira, desenvolvidos especialmente pelo professor Paulo Nobre (In Memoriam). Nesse contexto, a pesquisa tem como objetivo investigar a Praça 07 de Setembro a partir de diferentes referenciais teóricos, entre os quais se destaca Perié e Barraud (2023), no intuito de analisar a paisagem urbana e identificar os múltiplos valores e significados atribuídos a esse espaço livre. Para ampliar o debate, foram empregadas metodologias que incluem o cruzamento de inventários, análises visuais e a construção de uma linha do tempo histórica, permitindo compreender a dinâmica dos processos de apropriação cultural e simbólica, bem como suas dimensões artísticas e paisagísticas, que se manifestam na formação da paisagem do universo de estudo.

Palavras-chave: Patrimônio Cultural; Praças; Preservação; Paisagem urbana.

TITLE: Landscape values: inventory and identification of heritage attributes of the squares in the Historic Center of Natal - RN.

Abstract

This research takes a specific and broad look at the squares of Natal's Historic Center, considering permanence and transformation, especially after the listing by the National Institute of Historic and Artistic Heritage (IPHAN) in 2010. It is a research excerpt and continues previous studies on Natal's public gardens and the landscape in the neighborhoods of Cidade Alta and Ribeira, developed especially by Professor Paulo Nobre (In Memoriam). In this context, the research aims to investigate Praça 07 de

Setembro from different theoretical references, among which Perié and Barraud (2023) stand out, in order to analyze the urban landscape and identify the multiple values and meanings attributed to this open space. To broaden the debate, methodologies were employed that include the cross-referencing of inventories, visual analyses, and the construction of a historical timeline, allowing for an understanding of the dynamics of cultural and symbolic appropriation processes, as well as their artistic and landscape dimensions, which are manifested in the formation of the landscape of the universe under study.

Keywords: Cultural Heritage; Squares; Preservation; Urban landscape.

Introdução

O presente relatório reúne os resultados finais da pesquisa desenvolvida entre 2024 e 2025, intitulada “Valores da paisagem: inventário e identificação de atributos patrimoniais das praças do Centro Histórico de Natal-RN”. O trabalho dá continuidade à tradição investigativa consolidada no Departamento de Arquitetura da UFRN, especialmente pelo legado do professor Paulo José Lisboa Nobre (In Memoriam), cuja atuação foi fundamental para o entendimento da paisagem cultural de Natal e, em particular, para o estudo das praças históricas inseridas na área de tombamento do Centro Histórico. Esse conjunto, reconhecido pelo IPHAN em 2010, por meio do processo nº 1.558-T08, foi registrado como “Conjunto Arquitetônico, Urbanístico e Paisagístico” e representa um marco essencial para a preservação da memória urbana da capital potiguar, como pode ser visto a localização na figura 01.

Ao longo da investigação, buscou-se examinar de maneira integrada os atributos patrimoniais das praças do Centro Histórico, levando em consideração suas dimensões culturais, históricas e paisagísticas. A pesquisa esteve vinculada ao projeto “Palimpsesto: O redesenho da Paisagem e as Intervenções do PAC Cidades Históricas no Centro de Natal (RN)”, de caráter interdisciplinar, que promove a articulação entre diferentes áreas do saber para refletir criticamente sobre os impactos das intervenções recentes no tecido histórico da cidade. Assim, a relevância deste estudo se justifica não apenas pelo seu caráter documental e técnico, mas também pela contribuição ao debate acerca das ações de revitalização em contextos patrimoniais.

As praças do Centro Histórico de Natal, sobretudo as situadas nos bairros da Cidade Alta e da Ribeira, extrapolam sua função de componentes físicos da malha urbana: configuram-se como espaços de memória, de convivência social e de manifestação cultural. Enquanto elementos da paisagem urbana, desempenham papéis múltiplos, revelando ao longo do tempo a capacidade de se adaptar às constantes transformações da vida cidadina.

As intervenções realizadas no âmbito do PAC Cidades Históricas, principalmente entre 2013 e 2014, somadas às iniciativas mais recentes da gestão municipal, introduziram novas camadas de modificação na ambiência das praças históricas. Obras de infraestrutura, atividades culturais e projetos de requalificação foram implementados com o propósito de valorizar o Centro Histórico e ampliar seu uso social. Diante desse cenário, a pesquisa buscou compreender como tais transformações dialogam com os valores patrimoniais ou, ao contrário, acarretam fragilidades nesses espaços.

Durante a primeira fase do estudo, os esforços concentraram-se no levantamento florístico e na análise da composição vegetal das praças André de Albuquerque, Praça 7

de Setembro e Praça Padre João Maria, todas localizadas na Cidade Alta. Para além da caracterização botânica, foram investigados os aspectos históricos vinculados aos projetos de ajardinamento e às sucessivas transformações ocorridas ao longo das décadas. Essa abordagem possibilitou iniciar um inventário detalhado das espécies, além de registrar permanências e rupturas na relação entre a paisagem construída e a vegetação urbana.

A análise visual desses espaços reforçou a compreensão das praças como verdadeiros palimpsestos urbanos, isto é, camadas de história sobrepostas que revelam os diferentes momentos da cidade. Cada uma das praças investigadas apresentou singularidades em termos de trajetória, composição florística e formas de uso social, mas, em conjunto, constituem um sistema de espaços verdes que confere identidade ao Centro Histórico de Natal.

Assim, este relatório apresenta os resultados consolidados referentes às praças da Cidade Alta, enfatizando os avanços em termos de documentação, levantamento florístico e avaliação de atributos patrimoniais.

Metodologia

O presente plano de trabalho foi delineado com o propósito de expandir a pesquisa anteriormente desenvolvida, incorporando à análise as praças não contempladas em anos anteriores e ampliando o recorte investigativo sobre o Centro Histórico de Natal. Para tanto, optou-se por um percurso metodológico fundamentado em referenciais teóricos consolidados no campo da paisagem cultural, articulado a procedimentos empíricos de observação, inventário e análise visual, de forma a integrar a dimensão documental, histórica, simbólica e perceptiva desses espaços.

A fundamentação inicial apoiou-se nos referenciais do Laboratório da Paisagem da UFPE, cuja metodologia para inventários de sítios culturais estabelece parâmetros de registro dos seus componentes e condicionantes, visando subsidiar ações de conservação em diferentes escalas. O inventário, neste contexto, constitui-se em instrumento primário de documentação, útil para a identificação de praças e jardins de interesse histórico, artístico, arquitetônico, botânico e ecológico (Carneiro, Silva e Rolim, 2018).

A etapa de pesquisa bibliográfica compreendeu a revisão de literatura especializada sobre paisagens culturais, espaços livres e praças históricas, com ênfase nos estudos relativos ao Centro Histórico de Natal. Essa etapa contemplou a consulta a fontes primárias e secundárias, incluindo plantas, fotografias antigas, iconografia e registros documentais presentes em arquivos públicos, os quais permitiram a construção de uma linha do tempo acerca da ambiência e dos projetos de intervenção realizados ao longo dos anos (Figura 02). Foram igualmente incorporados os estudos produzidos pelo projeto de pesquisa Palimpsesto, além de trabalhos acadêmicos disponíveis no repositório da UFRN e no acervo do Grupo de Pesquisa História da Cidade, do Território e do Urbanismo (HCUrb/DARQ/UFRN).

No campo conceitual, buscou-se aprofundar o debate sobre a paisagem como patrimônio, com especial atenção à noção de significância cultural, consagrada a partir da Carta de Veneza (1964), reiterada na Carta de Burra (1980) e problematizada por autores como Feilden e Jokilehto (1998). Nesse sentido, a significância foi compreendida como a soma

de valores estéticos, históricos, sociais e espirituais, incorporados ao próprio lugar e manifestos em sua materialidade, usos, significados e associações. Essa compreensão reforçou a necessidade de articular dimensões tangíveis e intangíveis na análise das praças investigadas.

Os procedimentos metodológicos empíricos compreenderam:

Pesquisa de campo: visitas sistemáticas às praças da Cidade Alta destinadas à observação direta e ao registro fotográfico das formas de apropriação cotidiana, das transformações espaciais e das permanências históricas.

Inventário florístico: levantamento e identificação da cobertura vegetal presente nas praças, com base em registros in loco, fotografias e comparação com espécies documentadas em inventários anteriores. Essa etapa buscou compreender a composição botânica e suas relações com os projetos de ajardinamento e com a memória paisagística de cada espaço.

Representação gráfica: elaboração de esquemas, croquis e mapas interpretativos, destinados a sistematizar as informações coletadas em campo e a possibilitar a leitura integrada da morfologia urbana, da cobertura vegetal e das relações visuais estabelecidas entre os elementos que compõem a paisagem das praças.

Análise visual da paisagem: conduzida a partir da metodologia proposta por Peries e Barraud (2023), no livro *Estudiar el paisaje de la ciudad: metodología para catálogos de paisaje urbano*. Essa abordagem parte do pressuposto de que a paisagem urbana deve ser entendida em sua dimensão cotidiana, ou seja, como o espaço vivido, apropriado e transformado continuamente por seus habitantes. Para tanto, o método utiliza representações de visadas e pictogramas como instrumentos de leitura e registro, permitindo revelar não apenas a forma física dos espaços, mas também seus usos, funções, fauna, flora e atividades humanas.

As visadas correspondem a recortes visuais do espaço, construídos a partir de pontos de observação que evidenciam relações de escala, perspectivas, marcos arquitetônicos e conexões entre elementos da paisagem. Já os pictogramas constituem representações gráficas simplificadas que documentam, de modo sistemático, a presença de diferentes componentes da vida urbana, como tipos de usuários, dinâmicas de circulação, práticas sociais, manifestações culturais, bem como aspectos ambientais, incluindo vegetação e fauna observada. Dessa forma, a metodologia de Peries e Barraud (2023) favorece a tradução da complexidade da paisagem em representações acessíveis e comparáveis, capazes de evidenciar tanto permanências quanto mutações no uso e percepção dos espaços públicos.

No âmbito desta pesquisa, tal metodologia foi adaptada para articular-se às categorias de análise de paisagem já consolidadas em estudos brasileiros, permitindo conjugar a dimensão objetiva e subjetiva da paisagem. Consideraram-se, assim, os atributos físicos (solo, relevo, clima, recursos hídricos), biológicos (cobertura vegetal e fauna) e antrópicos (edificações, infraestrutura, usos sociais, sonoridades), conforme Delphim (2006) e Cabral e Souza (2005). Essa integração metodológica possibilitou a construção de um diagnóstico abrangente, que contempla tanto os elementos materiais quanto as

práticas sociais e os significados simbólicos que atravessam a experiência cotidiana das praças históricas da Cidade Alta.

Por fim, buscou-se articular a análise objetiva e subjetiva da paisagem com o método proposto por Gordon Cullen (2010), que valoriza a experiência perceptiva e a capacidade do observador de construir sínteses visuais e interpretativas. Essa abordagem, somada ao detalhamento gráfico proporcionado pelos pictogramas de Peries e Barraud (2023), ampliou a capacidade de compreensão das paisagens urbanas, revelando a sua dimensão estética, cultural e social.

Resultados e Discussões

Uma praça histórica que reúne equipamentos de grande relevância institucional, como a Pinacoteca do Estado, a Assembleia Legislativa, a Prefeitura Municipal e o Poder Judiciário, apresenta um conjunto expressivo de atributos e valores patrimoniais. Esse foi o ponto de partida para a análise da paisagem cultural da Praça Sete de Setembro, localizada na Cidade Alta, em Natal-RN.

Do ponto de vista histórico, trata-se de um espaço que concentra funções administrativas, políticas e culturais centrais para a formação da cidade, sendo testemunho direto das etapas de consolidação do poder público e da organização urbana.

No campo arquitetônico e urbanístico, destaca-se pela presença de edificações monumentais que, em diferentes estilos e períodos, representam marcos da produção arquitetônica local e configuram um cenário cívico de grande representatividade.

Além disso, a praça se afirma como elemento paisagístico fundamental, na medida em que articula os edifícios institucionais e compõe um espaço de convivência, onde áreas verdes, monumentos e perspectivas urbanas reforçam a dimensão estética e simbólica do conjunto. Do ponto de vista cultural e social, constitui-se como lugar de encontro e práticas coletivas, palco de manifestações populares, celebrações cívicas e eventos culturais, desempenhando funções múltiplas que revelam sua permanência como referência da vida urbana.

Esses atributos sustentam uma série de valores patrimoniais, a saber:

O valor histórico se expressa pela associação com a memória política e administrativa da cidade; o valor artístico e arquitetônico decorre da qualidade estética e representatividade dos edifícios que a circundam, bem como, do sua composição formal com canteiros, elementos vegetais e obra de arte; o valor cívico está na condição de espaço simbólico de exercício da cidadania, por abrigar os poderes Executivo, Legislativo e Judiciário; e o valor paisagístico é reforçado pela integração entre arquitetura e espaço livre.

Soma-se a esses aspectos o valor de uso, uma vez que a praça e suas edificações permanecem ativas e funcionais, e o valor identitário, ligado ao reconhecimento da população, que a percebe como marco da memória coletiva e da identidade urbana.

Dessa forma, pode-se afirmar que tal praça se constitui em um verdadeiro centro cívico-patrimonial, cuja preservação é fundamental para a manutenção da ambiência histórica e cultural do Centro da cidade, como pode ser visto na análise da paisagem na figura 03, que sintetiza os elementos que marcam a paisagem da praça 07 de setembro e contribuem para a construção dos seus valores.

O espaço ainda desempenha funções ligadas à mobilidade urbana e do ponto de vista socioeconômico. A existência da parada de ônibus assume papel estratégico na articulação do fluxo de pessoas e transportes. Além disso, a presença de mobiliário urbano demonstra a tentativa de adequação da praça às necessidades de permanência dos usuários. Assim como a presença de pontos de venda informal, trabalhadores e perfis de estudantes e transeuntes revelam que a praça constitui também um espaço de produção de sociabilidade, marcado pela diversidade de usos e apropriações, coexistindo funções governamentais, ambientais, de mobilidade, de lazer e de memória.

Todavia, há perdas consideráveis em relação à autenticidade e à integridade da praça se consideradas as análises com projetos anteriores. Nesse sentido, a pesquisa já teve desdobramentos em artigo aprovado para apresentação e publicação no 12 Projetar 2025, intitulado “Uma Experiência de Análise Integrada: Avaliação Pós-Ocupação da Praça Sete de Setembro, Natal-RN. O trabalho foi desenvolvido em coautoria com Glaucete Alves, Bianca Araújo, Marina Cortês e Anna Rachel Julianelli com investigação conduzida por meio de atividades de campo associadas a procedimentos metodológicos que estruturam uma Análise Pós-Ocupação (APO), centrada nos modos de uso e na percepção dos frequentadores das praças históricas de Natal. Esse conjunto de métodos articulados sustentou a experiência interdisciplinar vivida tanto pelos estudantes bolsistas de iniciação científica do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRN quanto pelos docentes pesquisadores envolvidos no projeto.

Como etapas metodológicas, foram realizadas revisão bibliográfica e sistematização de informações provenientes do cruzamento de dados obtidos por meio da aplicação de questionários, levantamento as built, elaboração de linha do tempo, mapeamento dos comportamentos observados, medições físicas e análise paisagística. Tais procedimentos foram fundamentados em visitas presenciais e na observação direta dos modos de apropriação espacial, possibilitando uma leitura mais abrangente das dinâmicas e significados que estruturam esses espaços públicos.

Com base nos dados coletados, foi realizada uma análise da paisagem, destacando-se as principais funções atribuídas à Praça 07 de Setembro e os elementos estruturantes que compõem sua configuração urbana. A investigação busca compreender, ainda, como esses elementos se refletem nas formas de apropriação do espaço, tomando como referência os estudos de Beringuier e Beringuier (1991), que abordam a paisagem a partir das dimensões de forma, função e estrutura em uma janela visual (Figura 04).

Ao analisar a praça sob a perspectiva de um palimpsesto, verificaram-se alterações nos traçados e nas composições vegetais ao longo do tempo. Para tanto, foram comparados os primeiros registros formais da planta baixa original com o projeto executado pelo PAC Cidades Históricas em 2019, buscando relacionar os vestígios da vegetação proposta ou preexistente com os possíveis remanescentes arbóreos e elementos construídos. A figura 05 ilustra esse processo, destacando em vermelho o traçado dos canteiros e a arborização

presentes na Praça 07 de Setembro em 1914, e em verde a configuração arbórea e o desenho da praça em 2019.

A sobreposição das plantas evidencia que o traçado da Praça 07 de Setembro foi sendo ajustado de acordo com as demandas do espaço urbano e com as formas de apropriação de seus usuários, o que lhe conferiu diferentes funções ao longo do tempo. Essa flexibilidade traduz a capacidade do espaço público de se reinventar diante das transformações sociais e urbanas, porém com perdas de autenticidade de sua composição inicial.

No período de desenvolvimento deste estudo, verificou-se que a arborização já havia passado por novas alterações, revelando intervenções realizadas pelos próprios usuários sobre o desenho inicialmente proposto pelo PAC Cidades Históricas em 2019. Entre essas modificações, destacam-se a introdução de espécies arbóreas e herbáceas adicionais (Figura 06), ainda em processo de crescimento, que reconfiguram gradualmente a paisagem da praça e indicam a dinâmica contínua de transformação de seus elementos vegetais.

Conclusão

A pesquisa busca aprofundar a compreensão da paisagem, em especial dos espaços livres urbanos do bairro da Cidade Alta, como patrimônio cultural, destacando os elementos que conferem valor a esse bem. Conforme apontam Periés e Barraud (2023), a paisagem resulta da articulação entre componentes materiais e imateriais, naturais e culturais, que em conjunto constituem um sistema interpretado socialmente com sentido e significado. Nesse contexto, a elaboração da ficha de identificação dos elementos presentes na Praça 07 de Setembro representa uma etapa fundamental, pois fornece subsídios para a valoração do espaço. Ao caracterizar a paisagem de forma sistematizada, cria-se uma base que possibilita não apenas o reconhecimento de seus valores, mas também a viabilidade de futuras ações de preservação e intervenção fundamentadas nos dados coletados.

A análise visual foi empregada como ferramenta para identificar e compreender as influências exercidas pelos elementos estruturadores e construídos sobre a configuração da praça. A investigação de suas funções, usos e estruturas evidencia que a paisagem apresenta forte relação de continuidade visual com as edificações do entorno, estabelecendo um diálogo entre o espaço aberto e a malha urbana que o circunda. Observa-se que, ao longo do tempo, o traçado da praça foi modificado com o intuito de criar novas ambiências, redefinir visuais e ressaltar o Monumento à Independência, posicionado em sua porção central. Nesse processo, os edifícios históricos adjacentes, portadores de valor patrimonial e associados à memória coletiva, somados às edificações institucionais de relevância administrativa, inserem a praça em um eixo de destaque político e governamental. Contudo, apesar de manter seu protagonismo na paisagem urbana, o espaço teve seu caráter cívico minimizado.

Nesse sentido, o levantamento das espécies arbóreas e florísticas constitui um instrumento essencial para a valoração perceptiva da paisagem, ao contemplar atributos visuais que enriquecem a experiência estética e sensorial do espaço. Paralelamente, fornece base

técnica para o planejamento e a gestão das áreas verdes históricas, orientando ações de preservação, recuperação e manejo adequado da flora, reconhecendo os elementos naturais como componentes culturais e reforçando a importância de sua conservação e de sua valorização no contexto urbano.

Os dados coletados até o momento pela pesquisa vão ser integrados a um acervo de um website em desenvolvimento, intitulado "Paisagens da Memória", criado em uma etapa anterior da pesquisa, e que já possui informações coletadas em outros anos. Esse site deverá ser atualizado para incorporar os novos conteúdos gerados pela pesquisa, assim como o inventário das intervenções realizadas nas praças históricas por meio do PAC Cidades Históricas.

Referências

BERINGUIER, C.; BERINGUIER, P. GEODOC, 35. Documents de Recherche de l'UFR Géographie et Aménagement, Université de Toulouse-Le Mirail. In: BERINGUIER, C.; BERINGUIER, P. (Orgs.). Manières paysagères une méthode d'étude, des pratiques, Toulouse : Institut Daniel Faucher, 1991. p. 5-25.

CANDIOTTO, Cesar et Al. Fundamentos da pesquisa científica. Teoria e prática. Petrópolis vozes, 2011.

CARNEIRO, Ana Rita Sá, SILVA, Aline de Figueirôa, SILVA, Joelmir Marques da. Jardins de Burle Marx no Nordeste do Brasil. (Org). Recife : Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

CARNEIRO, Ana Rita Sá, SILVA, Joelmir Marques da, ROLIM, Maria Eduarda Dantas de Oliveira. Inventário e Conservação do Jardim de Burle Marx na Sudene. Revista Percorso NEMO. Maringá, v. 10, n. 1, p. 111 - 130, 2018.

CORRÊA, Roberto Lobato. ROSENDAHL, Zeny. Paisagem, tempo e cultura. 2.ed. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2004.

CULLEN, Gordon. Paisagem urbana. São Paulo: Edições 70, 2010.

CURY, Isabelle (Org). Cartas patrimoniais. Rio de Janeiro: IPHAN, 2000.

Kang Sun, Bert De Coensel, Karlo Filipan, Francesco Aletta, Timothy Van Renterghem, Toon De Pessemier, Wout Joseph, Dick Botteldooren. Classification of soundscapes of urban public open spaces. Landscape and Urban Planning, Volume 189, 2019, p. 139-155, ISSN 0169-2046. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.016>. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204618305899). Acesso em: 20 de ago de 2025.

NOBRE, Paulo J. Lisboa. MADRIGA, Natália M. ABRAL, Joyce K.C. M. , SOUSA, Ana Karla P. O tombamento do Centro de Natal RN e a preservação das praças históricas. Anais do 70. Seminário Mestres e Conselheiros : Agentes multiplicadores do Patrimônio. Belo Horizonte: IEDS UFMG, 2015.

PERIÉS, Lucas. BARRAUD, Silvina. Estudiar el paisaje de la ciudad: metodología para catálogos de paisaje urbano. Buenos Aires: Nobuko/Diseño editorial, 2023.

VERDUM et al. I Um mosaico de relações – o Pagus e as múltiplas leituras para o estudo da paisagem n: HEIDRICH, A. L. & PIRES, C. L. Z. (orgs.). Abordagens e práticas da pesquisa qualitativa em Geografia e saberes sobre espaço e cultura. Porto Alegre: Editora Letral, 2016, p. 211-228. Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/149944/001007752.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Anexos



Figura 01 - Mapa do centro histórico de Natal com destaque para a poligonal de tombamento. Fonte: Nobre et al. (2015)



Figura 02 - Ficha resumo da Praça 07 de Setembro desenvolvido pelo grupo de pesquisa Paisagens da Memória. Fonte: Acervo de Paulo José Lisboa Nobre (2022)



Figura 03 - Ficha de identificação da paisagem da Praça 07 de Setembro. Fonte: Autor (2025) com base na metodologia de Peries e Barraud (2023)



Figura 04 - Análise dos elementos estruturantes da praça. Fonte: Autor (2025)



Figura 05 - Comparativo de traçados e composição vegetal em 1914 e 2019. Fonte: autor (2025) com base em Semurb (2019) e acervo de Paulo José Lisboa Nobre



Figura 06 - Levantamento arbóreo e florístico realizado na Praça 07 de Setembro. Fonte: autor (2025) com base em Semurb (2019)

CÓDIGO: HS1570

AUTOR: GABRIEL GIOVANI MENDES

ORIENTADOR: CLARA OVÍDIO DE MEDEIROS RODRIGUES

TÍTULO: Acompanhamento de processos projetuais com metas de resiliência em contextos de áreas de fragilidade ambiental

Resumo

O cenário atual de mudanças climáticas demanda aplicações de resiliência no projeto de arquitetura. Estratégias projetuais como as Nature-based Solutions, e uso de infraestrutura verde e azul podem ser utilizadas para atingir essa meta de resiliência. O presente artigo pretende identificar potencialidades no ensino dessas diretrizes para alunos de graduação de arquitetura, por meio de uma experiência em sala de aula e possíveis contribuições para projetos em áreas de fragilidade ambiental. Os alunos foram direcionados a explorar as possibilidades de aplicação dessas diretrizes em um exercício de projeto de edifício comercial. A experiência foi documentada por meio de gravação de vídeo, e os desenhos e croquis feitos pelos discentes foram utilizados para as análises. Foi observado que a associação de conteúdos de outras matérias foi um ponto chave para a aplicação dessas metas de resiliência no exercício projetual. Conclui-se que o tema permite aos estudantes articular novos conteúdos com os fundamentos teóricos e práticos adquiridos em outros componentes curriculares e que as NbS demonstram potencial de aplicação em áreas de fragilidade ambiental.

Palavras-chave: Soluções baseadas na natureza; Resiliência; Fragilidade Ambiental

TITLE: Monitoring design processes with resilience goals in contexts of areas of environmental fragility

Abstract

The current climate change scenario demands resilience applications in architectural design. Design strategies such as Nature-Based Solutions and the use of green and blue infrastructure can be used to achieve this resilience goal. This article aims to identify potential teaching opportunities for these guidelines to undergraduate architecture students through a classroom experience and potential contributions to projects in areas of environmental fragility. Students were directed to explore the possibilities of applying these guidelines in a commercial building design exercise. The experience was documented through video recording, and the students' drawings and sketches were

used for analysis. It was observed that combining content from other subjects was a key point for applying these resilience goals in the design exercise. We conclude that the topic allows students to articulate new content with the theoretical and practical foundations acquired in other curricular components and that NbS demonstrate potential for application in areas of environmental fragility.

Keywords: Nature-based Solutions; Resilience; Environmental Fragility.

Introdução

As áreas de fragilidade ambiental contém especificidades com relação aos condicionantes ambientais, relacionado aos meios físico, biótico e socioeconômico. O meio físico corresponde aos aspectos geológicos e geográficos, como tipo de solo, clima, e proximidade com lençóis freáticos; já o meio biótico tem relação com o ecossistema presente, a fauna e flora; e por último, o meio socioeconômico está relacionado com os aspectos regionais dos povos locais, uso do solo, estrutura urbana e a presença de locais de importância histórica. Para uma intervenção adequada em áreas frágeis ambientalmente, é necessário desenvolver uma análise específica da área e identificar suas necessidades (BEZERRA, 2024).

O conceito de resiliência pode auxiliar nesses contextos porque ele é amplo e com origem em aplicação em diversas áreas da ciência. Holling (1973, 1996) apresenta o significado do termo resiliência em diversas áreas da ciência, como ecologia e engenharia, e todos eles contribuem para o significado da resiliência na arquitetura. De acordo com o AIA (2018), a resiliência na arquitetura pode ser descrita como “a capacidade de preparar e planejar para, absorver, recuperar-se e adaptar-se a eventos adversos”, que estão cada vez mais recorrentes no contexto de mudanças climáticas atuais. Uma das maneiras de se atingir a resiliência pode ser por meio do uso das estratégias projetuais denominadas Nature-based Solutions, ou NbS. As Nature-based Solutions são estratégias projetuais em nível arquitetônico ou urbano que utilizam de elementos da natureza como motivo. Makram (2019) exemplifica NbS com prédios e outras estruturas cuja forma se assemelha à formas encontradas na natureza, a Gherkin Tower, em Londres, tem uma forma semelhante à de uma esponja para melhorar a ventilação natural no prédio.

Ainda de acordo com Makram, as NbS são utilizadas para auxiliar nas decisões projetuais em diversos aspectos da arquitetura, como estrutura, conforto térmico, ventilação e iluminação natural. Essa vertente da arquitetura busca na natureza as respostas para problemas encontrados no cotidiano da arquitetura, soluções essas que não seriam normalmente cogitadas.

A resiliência e as NbS se demonstram potencial para a arquitetura, principalmente no contexto atual de mudanças climáticas, visto que o setor imobiliário é responsável por cerca de 42% da emissão dos gases de efeito estufa na atualidade (IEA, 2023, apud Bethônico, 2024). O ensino dessas práticas para estudantes de arquitetura pode contribuir para mitigar esses impactos no futuro.

A inclusão desses temas permite que os estudantes se conectem com a urgência das mudanças climáticas, compreendendo o problema não só teoricamente, mas também por meio do exercício projetual. O pensamento projetual aborda problemas e soluções de forma integrada, usando desenhos e modelos (Cross, 2011), e considera a materialização das representações (Kowaltowski et al., 2006). O esboço e a modelagem ajudam no diálogo entre problema e solução, promovendo críticas e descobertas (Cross, 2011). Esse processo favorece a formulação de hipóteses e a análise de suposições (Kowaltowski et al., 2006), além de estimular a reflexão-na-ação (Schön, 2000), reduzindo incertezas dentro de um contexto multidisciplinar (Lebahar, 1999).

Apesar do potencial de incorporação do tema no ensino, os conhecimentos em resiliência na arquitetura e sua aplicabilidade na prática projetual em arquitetura não estão amplamente contemplados no ensino de arquitetura atualmente. Dessa forma, o artigo tem o objetivo de identificar potencialidades no ensino dessas diretrizes para alunos de graduação de arquitetura, por meio de uma experiência em sala de aula, e identificar possíveis contribuições para projetos em áreas de fragilidade ambiental.

Metodologia

Para a pesquisa houve revisão de literatura para ampliar os conhecimentos na área de resiliência e áreas de fragilidade ambiental, além de compreender melhor o conceito de soluções baseadas na natureza, com o objetivo de elaborar uma aula para alunos no nível de graduação em arquitetura e urbanismo. A aula foi composta por uma pequena conceituação do tema de NbS, depois um rápido exercício de projeto feito em grupos de 3 pessoas, o qual foi gravado e posteriormente transcrito para fazer as análises. E por fim uma apresentação do produto desenvolvido pelos grupos. Os materiais desenvolvidos pelos grupos, que consistem em desenhos, croquis e anotações, foram utilizados também para as análises.

É válido ressaltar que todos os procedimentos, instrumentos e processos utilizados nesta pesquisa foram aprovados pelo comitê de ética da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, conforme o parecer 7.3.67.234, em Janeiro de 2025. Além disso, os discentes que participaram da pesquisa assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, que permitiu o uso da gravação de imagem e voz dos participantes, além de todos os materiais desenvolvidos.

Resultados e Discussões

Nature-based Solutions e Infraestrutura Verde e Azul

As Soluções Baseadas na Natureza (Nature-based Solutions – NbS) são abordagens que utilizam elementos naturais para enfrentar desafios ambientais, sociais e urbanos. Um exemplo é o uso de vegetação para reforçar a estabilidade de encostas em áreas com risco de deslizamento de terra (ONU; ANO, 2022.). Essas soluções não apenas contribuem para a resiliência das infraestruturas, mas também promovem a conservação da biodiversidade e o bem-estar humano (ONU; ANO, 2022).

A Infraestrutura Verde (Green Infrastructure – GI) é um conceito que se insere dentro das NbS e se refere à aplicação de soluções naturais na gestão da infraestrutura urbana, especialmente em relação à drenagem, tratamento de águas pluviais e controle térmico passivo de edificações. Exemplos incluem pavimentos permeáveis, jardins de chuva, wetlands (áreas úmidas artificiais) e sistemas de captação de água da chuva. Comparada aos métodos tradicionais baseados em concreto, a GI apresenta melhor custo-benefício e contribui significativamente para a sustentabilidade urbana (Depietri, McPhearson; 2017).

De forma complementar, a Infraestrutura Azul envolve o uso estratégico de corpos d'água — como lagos, zonas úmidas, estuários, rios e mares — para regular a temperatura urbana e mitigar os efeitos das mudanças climáticas (Depietri; McPhearson, 2017.). Em termos de projeto, as soluções baseadas na natureza, sob o olhar das infraestruturas verde e azul, se apresentam no uso da vegetação e corpos de água incorporados na edificação ou em seu entorno. O uso de telhados e paredes verdes auxilia no isolamento térmico do edifício, filtragem e retenção de água da chuva e proteção do revestimento do edifício, além de reduzir a emissão de carbono (Makram, 2019). Na questão de diretrizes de projeto, os projetistas podem utilizar-se de elementos da natureza de diversas maneiras, como o mimetismo de características de animais ou plantas, ou a aplicação de infraestrutura verde ou azul. O mimetismo de animais ou plantas, como a forma de um artrópode, pode ser partido para uma arquitetura que visa uma maior eficiência dos materiais, por exemplo. Por outro lado, o uso direto de elementos naturais, como paredes e tetos vegetais, auxilia na conservação de energia, por regular a temperatura e infiltração de maneira passiva e natural para o caso de uma infraestrutura verde. E como aplicação de infraestrutura Azul, o guia prático da ONU (2022) sugere a captação de água da chuva com sistemas de filtração e armazenamento. O guia prático da ONU (2022) aborda as NbS como soluções para projeto em áreas de fragilidade ambiental por utilizar de técnicas pouco agressivas à natureza, se demonstram eficazes em áreas íngremes e de alto risco de deslizamento de terra, e áreas com risco de alagamento e enchentes.

NbS e Infraestrutura Verde/Azul aplicada em sala de aula

A matéria que corresponde ao conteúdo da pesquisa foi ofertada como matéria optativa, e sua ênfase é em projeto e aplicação dos conceitos de resiliência na prática projetual. A matéria foi dividida em 3 unidades, a primeira consiste em um momento de apresentação da teoria de resiliência e possíveis abordagens, com aplicação em exercícios rápidos, com cerca de 40 minutos para se realizar, e uma rápida apresentação ao final.

A segunda unidade consistiu em rápidas oficinas no método charrete, com exposição do conteúdo em um primeiro momento, e uma aplicação dos conceitos em um projeto de edifício comercial em Caicó no RN, que seria feito progressivamente e entregue a nível

de estudo preliminar no fim da disciplina. A terceira unidade consistiu em oficinas e ateliê para desenvolvimento do projeto apenas.

A aula sobre Nbs e Infraestrutura Verde e Azul ocorreu na primeira unidade, e contou com um exercício rápido de projeto, em que os participantes teriam cerca de 40 minutos para propor um projeto de edifício comercial no bairro do Alecrim, em Natal/RN. O projeto seria a reforma do camelódromo localizado na Avenida Presidente Bandeira (Fig. 01), e os grupos foram orientados a projetar um módulo que poderia ser replicado em todo o perímetro do camelódromo.

A sala foi separada em dois grupos de 2 e 3 pessoas, com alunos de diferentes períodos, variando do 5º até o 9º período. As gravações foram posteriormente visitadas com o intuito de fazer quadros (Figuras 02 e 04) que reúnem o que foi discutido e qual solução o grupo considerou mais apropriada para a resolução do problema, junto dos desenhos e croquis realizados pelos grupos (Figuras 03 e 05).

O grupo 01, composto por alunos do 8º e 9º período, identifica um problema preexistente na área do projeto no que concerne o escoamento de água da chuva, logo é inserido no projeto a implantação de áreas verdes permeáveis e sinaliza a utilização de sistemas de captação de água da chuva no projeto, porém devido à falta de conhecimento específico do funcionamento desses sistemas, apenas sinalizaram sua existência sem explicar seu funcionamento; também não houve discussão sobre o tamanho da circulação interna.

O grupo também priorizou a solução funcional do lugar da aplicação das diretrizes mostradas em sala, demonstrando uma ênfase na bagagem de conhecimentos prévia à disciplina, como a solução da circulação e acústica. Além disso, eles apresentaram os movimentos episódicos (Schön, 2000) nas discussões sobre a modulação e a circulação, eles estavam constantemente retomando esses temas para tentar acomodar as novas soluções discutidas.

O grupo 02, composto por 2 alunas do 5º período, apresentou dificuldades parecidas com o grupo anterior na questão de detalhamento das estratégias apresentadas na aula, como a captação da água da chuva, e a estrutura do telhado verde sugerido. Esse grupo conseguiu explorar mais as soluções e diretrizes nesse projeto, pensando em utilizar materiais mais sustentáveis como o bambu, utilização do telhado verde, valas vegetais, e captação da água da chuva. Apesar de algumas soluções serem mais caras, o grupo demonstrou interesse em explorar essas novas possibilidades apresentadas na sala. No processo do exercício, as alunas mencionam conteúdos e professores das matérias obrigatórias que estavam cursando para justificar suas escolhas durante as discussões do grupo, a exemplo da relação estabelecida entre os conteúdos da matéria de paisagismo do 5º período com o exercício proposto. Essa reflexão demonstra a interdisciplinaridade e aplicação de conhecimentos prévios com o tema da resiliência.

Conclusão

A experiência mostra que alcançar metas de resiliência, com foco nas diretrizes de NbS e Infraestrutura Verde e Azul, tem como principal potencial a capacidade de articular novos conteúdos com os fundamentos teóricos e práticos adquiridos em disciplinas cursadas anteriormente. Esse diálogo facilitou a aplicação de modulação e funcionalidade do edifício, observado em ambos os grupos, além de facilitar a decisão de outros aspectos como uso de vegetação, conforto acústico e materiais. As principais barreiras identificadas estão relacionadas ao tempo escasso para a realização da atividade, e pouco conhecimento técnico acerca das soluções dos métodos apresentados na aula, o que desencadeou pouca especificação técnica acerca do funcionamento das técnicas abordadas.

A utilização de NbS e diretrizes projetuais relacionadas à resiliência demonstram potencial de aplicação em áreas de fragilidade ambiental ao utilizar-se do ambiente não construído e minimizando os impactos à natureza local. O ensino dessas diretrizes para alunos de arquitetura é importante para minimizar o impacto ambiental da profissão no futuro.

Por fim, sugere-se que trabalhos futuros sejam desenvolvidos analisando processos de projeto que apliquem as NbS em áreas de fragilidade ambiental e que permitam um maior tempo de desenvolvimento da solução projetual.

Referências

BETHÔNICO, Thiago. **Autor(a): Thiago Bethônico | Folha**. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/autores/thiago-bethonico.shtml>. Acesso em: 3 maio 2025.

BEZERRA, Adriana C. A. **O Diagnóstico Ambiental Como Parte Do Processo De Projeto Arquitetônico: Proposta De Uma Pousada Com Ênfase No Baixo Impacto Ambiental**. Trabalho de qualificação. Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio-ambiente do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2024.

CROSS, N. **Design Thinking: Understanding how designers think and work**. London/New York: Bloomsbury Academic, 2011.

DEPIETRI, Y.; MCPHEARSON, T. **Integrating the Grey, Green, and Blue in Cities: Nature-Based Solutions for Climate Change Adaptation and Risk Reduction**. 2017.

HOLLING, C. S. **Resilience and stability of ecological systems**. Annual Review of Ecology and Systematics. v. 4, n. 1, p. 1-23, 1973.

HOLLING, C. S. **Engineering resilience versus ecological resilience**. In: SCHULZE, Peter C. (Ed.). **Engineering within ecological constraints**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1996. p. 31–43.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2023**: synthesis report. Geneva: S.N., 2023.

KOWALTOWSKI, D. et al. **Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico**. Ambiente Construído. v. 6, n. 2, p. 12, abr./jun. 2006.

LEBAHAR, J. C. **Analyse cognitive de la conception et de sa pédagogie**. In: Approche didactique de l'enseignement du projet en architecture. Marseille: École d'Architecture de Marseille-Luminy, 1999.

MAKRAM, A. **Nature-Based Framework for Sustainable Architectural Design - Biomimetic Design and Biophilic Design**. Gamasa, Delta University for Science and Technology, 2019.

SCHÖN, D. A. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **A Practical Guide to Climate-resilient Buildings and Communities**. Nairobi: UNEP, 2021.

Anexos



Figura 05



Figura 04



Figura 03



Figura 02



Figura 01

CÓDIGO: HS1603

AUTOR: ANA CLARA TAVARES MAIA RIBEIRO

ORIENTADOR: GEORGE ALEXANDRE FERREIRA DANTAS

TÍTULO: Questões urbanas e tentativas de ordenamento: o papel da câmara municipal de Natal (1948-1955)

Resumo

Este trabalho investiga as questões urbanas e as tentativas de ordenamento em Natal, tendo como ponto de partida o papel da Câmara Municipal a partir da sua instalação definitiva em 1948. O objetivo inicial de analisar os debates e ações do legislativo municipal no período de 1948 a 1955 evoluiu para uma análise sobre a visão de cidade do prefeito Djalma Maranhão (1956-1964), uma vez que sua gestão participativa buscou responder aos desafios urbanos expostos pela população. A metodologia adotada baseia-se na análise de fontes primárias, como atas da Câmara Municipal de Natal, periódicos da época, crônicas e discursos parlamentares, à luz do referencial teórico da História Cultural. Os resultados indicam que a Câmara se consolidou como um espaço para a afirmação do municipalismo e para o debate das carências urbanas. A pesquisa revela que a gestão de Djalma Maranhão articulava uma visão nacionalista e democrática nas áreas de educação, cultura popular e infraestrutura urbana, com base na participação da população. A pesquisa começa a discutir como essas perspectivas apontam também para a questão urbana e consubstanciam uma tentativa de construir uma cidade emancipada e mais justa.

Palavras-chave: Câmara Municipal. Gestão municipal. Djalma Maranhão. Visão de Cidade.

TITLE: Urban issues and attempts at order: the role of the Natal's municipal administrations (1948-1955)

Abstract

This work investigates urban issues and attempts at urban planning in Natal, starting with the role of the City Council since its definitive establishment in 1948. The initial objective of analyzing the debates and actions of the municipal legislature from 1948 to 1955 evolved into an analysis of Mayor Djalma Maranhão's (1956-1964) vision of the city, as his participatory administration sought to respond to the urban challenges presented by the population. The methodology adopted is based on the analysis of primary sources, such as minutes of the Natal City Council, periodicals, chronicles, and

parliamentary speeches, in light of the theoretical framework of Cultural History. The results indicate that the City Council consolidated itself as a space for the affirmation of municipalism and the debate on urban needs. The research reveals that Djalma Maranhão's administration articulated a nationalist and democratic vision in the areas of education, popular culture, and urban infrastructure, based on public participation. The research begins to discuss how these perspectives also point to the urban issue and embody an attempt to build an emancipated and more just city.

Keywords: Municipal Council. Municipal administration. Djalma Maranhão. City Vision

Introdução

O presente plano de trabalho intitulado “Questões urbanas e tentativas de ordenamento: o papel da câmara municipal de Natal (1948-1955)” vinculado ao HCUrb - História da Cidade, do Território e do Urbanismo, que busca aprofundar os estudos sobre o papel que a Câmara Municipal de Natal vai desempenhar na discussão e construção das questões urbanas, entre 1948 e 1955, contribuindo para abranger os conhecimentos de história urbana natalense e o enfrentamento dos problemas urbanos por parte da gestão municipal.

A gestão municipal de Natal enfrentou diversas transformações e desafios urbanos e sociais no período estudado, como a crise habitacional e a pressão sobre a infraestrutura, decorrentes do rápido crescimento populacional do pós-guerra. Assim, a Câmara Municipal de Natal foi definitivamente instalada em 1948, que contribuiu para o fortalecimento do legislativo e sua atuação fiscalizadora, tornando-se um dos principais espaços dos debates sobre o ordenamento da cidade.

O objetivo geral desta pesquisa, inicialmente, era levantar fontes para organizar um quadro de eventos e debates produzidos pela Câmara Municipal de Natal entre 1948 e 1955, visando aprofundar o conhecimento sobre a história urbana da cidade. Contudo, a partir dos achados preliminares, o objetivo geral foi ampliado para compreender a "visão de cidade" do prefeito Djalma Maranhão, analisando como seu projeto político se manifestou em ações e discursos durante suas gestões entre 1956 e 1964.

Dentre os objetivos específicos, buscou-se transcrever e organizar documentos oficiais, como as atas da Câmara Municipal; realizar o levantamento de periódicos e de acervos de crônicas de Maranhão; analisar os discursos do gestor para reconstruir suas representações, a fim de compreender sua visão de cidade; mapear as intervenções urbanas e sociais da gestão de Maranhão; e, articular e refletir sobre os debates e projetos da Câmara, contribuindo para a historiografia sobre o municipalismo.

A transcrição e leitura das atas da Câmara Municipal de Natal suscitaram questionamentos acerca das principais questões urbanas da época e das medidas tomadas pela instituição quanto aos problemas debatidos em suas sessões. As medidas adotadas pela Câmara Municipal em resposta às demandas públicas, bem como a compreensão do papel da nova estruturação da administração municipal, são questões que envolvem o estudo de municipalismo em Natal. Essas discussões levam a um dos

objetivos do plano, o qual busca contribuir para a expansão do conhecimento sobre como o ideal de autonomia municipal se manifestou no enfrentamento dos problemas urbanos de Natal.

Nesse contexto de autonomia municipal, também houve outro marco poucos anos depois, com Djalma Maranhão sendo o primeiro prefeito natalense eleito de forma direta. No recorte temporal ampliado, as gestões que receberam maior foco neste momento foram a primeira (1956-1959) e a segunda (1961-1964) administrações de Djalma Maranhão, mobilizando fontes diversas a fim de compreender a visão de cidade que se expressa nas ações e palavras do ex-prefeito.

O presente plano trabalha em conjunto a outras pesquisas do HCurb, resultando em colaborações com outros projetos. Houve apoio em estudos de outros pesquisadores que visavam ao avanço científico do grupo, como o aprofundamento no trabalho sobre as crônicas de Aderbal de França e a pesquisa sobre Urbicídio, com foco em informações sobre o cortiço Cabeça de Porco. Na sistematização do acervo do grupo foram organizados os artigos do SHCU e do ENANPUR. A participação como ouvinte e apoio no Seminário de História da Cidade e do Urbanismo (SHCU) e nos seminários de leitura do grupo de pesquisa contribuíram para a ampliação do conhecimento e da percepção sobre história cultural. A investigação adotou uma abordagem mais voltada para a análise das representações e do imaginário urbano, que levaram à busca por compreender a visão de cidade de Djalma Maranhão.

Metodologia

Para realizar esta pesquisa, foi adotada uma metodologia que articula a análise de diferentes tipos de fontes documentais. A revisão bibliográfica sobre a história urbana e política de Natal no século XX focou, em especial, em trabalhos sobre Djalma Maranhão. O levantamento e a análise de fontes oficiais focaram na transcrição e no estudo das atas da Câmara Municipal de Natal dos anos de 1948-1952 e 1955-56 que permitiram mapear os debates legislativos e as ações do poder público.

Também foi realizado um extenso levantamento em periódicos na Hemeroteca Nacional e no Estado de São Paulo, com destaque para os jornais de maior circulação local, como o Diário de Natal, A Ordem e O Poti, para compreender a repercussão das questões urbanas e políticas. A metodologia incluiu também a análise de fontes primárias produzidas pelo próprio Djalma Maranhão, como suas crônicas, seu livro sobre Cascudo, cartas de exílio e discursos parlamentares, a fim de compreender seu imaginário e representações sobre a cidade. Os dados coletados para o estudo sobre Maranhão foram organizados e sistematizados em tabelas no google planilhas, permitindo o cruzamento e organização das informações para a construção da análise sobre a "visão de cidade" do gestor a partir do referencial da História Cultural.

Durante a execução deste plano de trabalho, a pesquisa enfrentou diversos desafios metodológicos que exigiram ajustes no cronograma e nas estratégias de coleta de dados. A análise de fontes primárias, como as atas da Câmara Municipal, passou por alguns

contratempos. A transcrição dos documentos de 1948 foi dificultada pela caligrafia e pela má qualidade de preservação de algumas páginas, o que nos limitou a transcrever apenas as atas do início de agosto até o 10º dia do mês. Diante desse obstáculo, optou-se por focar também nas atas de 1951, cuja caligrafia mais legível permitiu o auxílio de ferramentas de inteligência artificial, como o Gemini. Foi transcrito parte do dia 18 até o último dia de novembro de 1951. O acesso aos arquivos físicos também impôs barreiras, como a dificuldade em agendar visitas à Câmara Municipal, o que resultou na obtenção das atas de 1955 e 1956 somente em agosto de 2025. Embora ainda não transcritas, uma leitura preliminar já revelou informações pertinentes para a pesquisa nos registros de agosto de 1956.

O acesso a fontes digitais foi dificultoso, com a indisponibilidade temporária do servidor do Laboratório de Imagens da UFRN (Labim) e o acesso incompleto ao acervo do jornal A República, devido a sua digitalização incompleta na Hemeroteca Digital. Houve um breve contato com o acervo da Tribuna do Norte, porém com limitações já que seu acesso é privado. A organização do material digitalizado no Google Drive apresentou falhas, com imagens sendo salvas em pastas incorretas ou não sendo carregadas, resultando na perda de alguns arquivos.

Resultados e Discussões

PESQUISAS ANTERIORES E CONTEXTO HISTÓRICO

De maneira geral, a historiografia urbana sobre Natal tem apontado que, no início do século XX, a cidade iniciou um processo de modernização inspirado em ideais de progresso, com obras de saneamento, iluminação, transporte e novos edifícios. Em 1939, o Plano Geral de Obras de Saturnino de Brito marcou um avanço nesse processo, seguido, na década de 1950, pelos primeiros loteamentos privados.

Como demonstrado nas etapas anteriores da pesquisa a qual este plano está vinculado, na gestão de Gentil Ferreira (1935-1940), a imagem de progresso por meio de obras de infraestrutura foi bastante divulgada, como em crônicas de Aderbal de França. Entre 1940 e 1946, a cidade enfrentou instabilidade políticas, influenciada pelos impactos da Segunda Guerra Mundial, que trouxeram crescimento populacional, crise habitacional e pressão sobre a infraestrutura.

Em 1946, Sylvio Pedroza assumiu a prefeitura com uma visão considerada modernizadora, realizando obras como a Avenida Circular e promovendo o parcelamento do solo. Sua administração reconheceu a necessidade de um plano diretor para controlar o crescimento urbano, bem como promoveu a zonificação da cidade. A partir de 1948, com a instalação definitiva da Câmara Municipal, o poder legislativo ampliou sua atuação fiscalizadora. Tem-se demonstrado que a imprensa jornalística, como "A Ordem", "Diário de Natal" e "A República", desempenhou papel importante, reforçando a imagem oficial de progresso, utilizando fotografias e matérias para reforçar perante a opinião pública a ideia de Natal como uma cidade moderna em transformação. É a partir deste cenário de construção imagética que a presente pesquisa se propõe a compreender a visão de cidade de Djalma Maranhão, analisando o que suas ações e discursos representaram para o contexto histórico-social de seu tempo.

QUADRO DOS PREFEITOS DE NATAL ATÉ A DITADURA

Figura 1

PAPEL DA CÂMARA E MUNICIPALISMO ATRAVÉS DAS ATAS DA CÂMARA MUNICIPAL

A análise das atas da Câmara Municipal de Natal foi essencial para o desenvolvimento da pesquisa, pois permitiu compreender como as questões urbanas eram debatidas e quais soluções eram propostas. Esse estudo se insere no campo do municipalismo, doutrina política que defende a autonomia administrativa dos municípios como esfera de poder mais próxima e responsiva às necessidades dos cidadãos. Matsumoto et. al (2012) define o municipalismo como:

“uma forma de organização ou desenho político-institucional que tende a conceber a esfera local como a mais eficiente para dar solução a uma série de problemas da vida em comunidade e que, para esse objetivo, demanda uma esfera política autônoma de ação, incluindo recursos fiscais e administrativos.”

Ao analisar as atas, percebe-se que os vereadores expressavam as preocupações sobre os desafios de uma cidade em crescimento. Nos registros de agosto de 1948, frequentemente nos debates haviam tensões sobre a estrutura de poder e a competência do Legislativo, como na discussão sobre a legalidade dos subsídios dos vereadores, um embate possivelmente motivado pela afirmação da autonomia da Câmara perante o Executivo. Já em novembro de 1951, as discussões se aprofundam em problemas urbanos cotidianos como a precariedade da infraestrutura sanitária, com apelos pela instalação de banheiros no Mercado do Alecrim e reclamações sobre esgotos a céu aberto; a crise nos serviços públicos, como as constantes falhas no fornecimento de energia pela Cia Força e Luz; e a assistência social, com debates sobre o financiamento de abrigos para menores e órfãos.

Os argumentos apresentados nas atas revelam diferentes visões e focos sobre o futuro da cidade. Um dos debates de destaque encontrados nas atas de novembro de 1951 diz respeito ao uso de terrenos públicos em Mãe Luiza. O vereador Felizardo Moura propôs a venda dos lotes para financiar a construção de um Estádio Municipal, argumentando que a obra geraria uma nova fonte de renda para o município. Em contraposto, o vereador Antônio Félix defendeu que os terrenos fossem destinados à construção de vilas operárias, priorizando o combate à crise habitacional. Esse conflito entre uma visão que prioriza a arrecadação e outra que foca na assistência social, demonstrando as disputas sobre o planejamento urbano da época. A defesa do municipalismo também se manifesta de forma explícita, como no protesto do vereador Josafá Machado contra a interferência da Assembleia Legislativa em um veto do prefeito, ato que ele considerou um "flagrante desrespeito à Constituição Federal, que concede autonomia ao Município".

As atas demonstram que o papel da Câmara foi se consolidando como um espaço de fiscalização, debate e representação das demandas populares, fortalecendo o municipalismo. A leitura dos registros de agosto de 1956, já no primeiro ano da gestão de Djalma Maranhão, mostra que o ex-prefeito submeteu à aprovação da Câmara leis de conteúdo social e cultural, como a construção do Mercado das Rocas, a criação do conselho de turismo e o auxílio a escolas e ao teatro. A relevância que a Câmara Municipal adquiriu nesse período é exemplificada pela visão de parte da população em um comentário do vereador Severino Galvão, registrado na ata do dia 29 de agosto de 1956: “O Vereador Severino Galvão, elogia um comentário da Rádio Cabugi, que

afirmou que a Câmara Municipal desta capital tem produzido mais do que a Assembleia Legislativa Estadual”.

A VISÃO DE CIDADE DE DJALMA MARANHÃO

Moraes (1995) revela que Djalma Maranhão nasceu em Natal, Rio Grande do Norte, em 27 de novembro de 1915, e faleceu em Montevidéu, Uruguai, em 1971, durante seu exílio na ditadura militar. Atuou como professor de educação física, cabo do Exército, jornalista, cronista e político, ocupando os cargos de deputado estadual, deputado federal e, notavelmente, prefeito de Natal em duas gestões (1956-1959 e 1960-1964).

Na biografia montada pela Fundação José Augusto (s.d.) sobre Djalma Maranhão, revela que sua formação política foi influenciada por sua participação, desde a adolescência, no Partido Comunista Brasileiro (PCB) e por eventos como a Intentona Comunista de 1935. Essas experiências consolidaram uma visão de mundo que se refletiu em suas administrações, marcadas por investir em obras urbanas e no desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a cultura e a educação como ferramentas de emancipação da população mais carente. Sua perspectiva também foi moldada pelo cenário da Segunda Guerra Mundial em Natal, que reforçou seu apreço pela valorização da cultura regional e da infraestrutura local.

Durante seus mandatos como prefeito, Djalma Maranhão implementou uma série de projetos que visavam a democratização do espaço urbano e a melhoria das condições de vida da população mais pobre. Entre suas iniciativas, destacam-se a pavimentação de ruas, a construção de mercados públicos, a expansão da iluminação, a urbanização de bairros populares, a construção de praças, parques infantis e do Palácio dos Esportes. No âmbito cultural e educacional, promoveu programas como “De Pé no Chão Também se Aprende a Ler”, o “Plano Djalma Maranhão”, instalação de uma galeria de arte popular, reinstalação da biblioteca municipal, além de projetos de calçamento como “O proprietário dá a pedra e a Prefeitura a mão de obra” (Moraes, 1995; Fundação José Augusto, s.d.).

Antes de adentrar na pesquisa sobre Djalma Maranhão, cabe conceituar o que se entende por “visão de cidade”. A expressão remete ao conceito de “Cidade Imaginada” de Sandra Pesavento (2003), desenvolvido a partir das perspectivas da História Cultural. Essa definição argumenta que a cidade existe para além de sua dimensão física e concreta. Ela pode ser construída no plano dos discursos, das imagens e dos projetos que moldam a forma como as pessoas a percebem, nela vivem e a transformam.

O historiador Gorelik (2004), em seus estudos sobre história cultural, distingue as formas de representar a cidade, entendidas como a maneira que a cultura se expressa na cidade e como a reflexão político-técnica se apresenta nos planos em como a cidade deveria ser.

“[...] imaginários urbanos como reflexão cultural (...) sobre as mais diversas maneiras pelas quais as sociedades se representam nas cidades [...], e imaginário urbano como dimensão de reflexão político-técnica (...) sobre como a cidade deveria ser (GORELIK, 2004, p. 259 e 260).”¹

¹No original: “[...] los imaginarios urbanos como reflexión cultural (...) sobre las más diversas maneras en que las sociedades se representan a sí mismas en las ciudades [...]”,

y la imaginación urbana como dimensión de la reflexión político- técnica (...) acerca de cómo la ciudad debe ser” (tradução nossa).

Nota-se que a atuação de Maranhão na política brasileira, especialmente como prefeito de Natal, demonstra seu imaginário urbano ou visão de cidade. A forte base cultural, popular e nacionalista do ex-gestor potiguar, o qual se expressa em seus projetos político-técnicos, mobilizaram recursos e a sociedade para reinventar o espaço urbano, unindo as duas formas de representar a cidade discutidas por Gorelik.

A partir dessas premissas, busca-se estudar as ideias e as falas de Djalma Maranhão, a fim de entender como ele, enquanto gestor da capital potiguar, planejava transformar a cidade. Pode-se dizer que Maranhão construiu uma "cidade imaginada" por meio de suas diferentes representações, como as crônicas e os discursos parlamentares, resultando nos projetos sociais do ex-prefeito como gestor. Essas representações são uma construção que molda a percepção e orienta as ações públicas.

- A CIDADE NAS CRÔNICAS

Em 1949, Djalma Maranhão publicou no jornal Diário de Natal crônicas sobre a esquina da rua Tavares de Lira com a rua Dr. Barata. As crônicas do falecido gestor foram compiladas e transformadas em livro anos após sua morte. Serão usadas nesse plano de trabalho as crônicas de Maranhão para traçar um segmento da sua visão de cidade que se expressa nesses textos. As crônicas narram o cotidiano natalense representados pela visão do ex-prefeito da capital potiguar.

Muito da visão de Maranhão se transpõe na oposição da cidade como ela é. Em sua crônica “O Desfile da Onça”, o ex-prefeito descreve uma Natal em que os bairros populares não eram providos de infraestrutura básica devida, representada pela cena do personagem Zé Areias tomando banho em um esgoto quebrado.

“[...] corria de um lado para o outro, até que encontrou o esgoto da sapataria A Fidalga arrebitado, metendo-se debaixo do cano furado, tomando um banho formidável, que pelo menos serviu para curtir a ressaca... (Maranhão, 2004)”

Essa representação do abandono urbano justifica suas futuras ações como prefeito, que priorizaram obras de infraestrutura urbana, especialmente voltadas para regiões mais carentes, a exemplo disso as ações de urbanização em Mãe Luiza e nas Rocas, expostas no jornal Diário de Natal durante a primeira e segunda gestão de Maranhão.

Djalma Maranhão também descreve em muitas de suas crônicas a sua cidade imaginada, um espaço de sociabilidade democrática e de forte cultura popular. O lugar principal em que se focaliza essa visão é a esquina da Avenida Tavares de Lira com a Rua Dr. Barata, que Maranhão descreve não como um simples local de passagem, mas como o “coração da vida norte-rio-grandense”. Para ele, a esquina era uma “espécie de universidade popular” e uma “verdadeira fonte irradiadora de informações”, onde os mais diversos grupos sociais se encontravam para debater desde a cotação do algodão até os últimos acontecimentos políticos. O ex-prefeito refere-se à esquina como um lugar de “heterogeneidade exuberante”, valorizando esse espaço público como um local de encontro, diversidade e exercício da cidadania. Essa representação da rua como um

centro de vitalidade cultural e política baseia sua visão de cidade, que mais tarde se materializou em ações como a criação das Praças de Cultura. O imaginário urbano expresso pelas crônicas compõem a visão de cidade de Djalma Maranhão, o qual busca, no geral, democratizar o espaço urbano e estimular a cultura natalense.

- A CIDADE NOS DISCURSOS PARLAMENTARES

Um dos grandes meios que representam a visão de cidade de Djalma Maranhão foram os discursos políticos como Deputado Federal no Parlamento, de 1959 a 1960, quando se afastou da gestão de Natal e seu vice José Pinto Freire assumiu. Maranhão representou Natal em Brasília como um indício da exploração econômica que o Rio Grande do Norte e o Brasil sofriam. Em seus discursos parlamentares, a cidade é representada como um território cujas carências urbanas eram consequências de um modelo econômico extrativista e dependente de países imperialistas (Maranhão, 1985).

Maranhão (1985) denunciou como as riquezas naturais do estado eram controladas por trustes internacionais, que drenavam os lucros e deixavam a população em miséria. Em seu pronunciamento sobre o tungstênio, ele detalha a riqueza da "Província Tungstênica do Seridó", mas revela como a empresa norte-americana Wha Chang Corporation monopolizava a produção, lesava os cofres públicos e pagava preços muito baixos aos mineradores locais. O mesmo argumento foi aplicado em seus discursos sobre a pesca, onde denunciou o contrabando de atum por empresas japonesas, e sobre o algodão, ao expor como o Banco do Brasil financiava majoritariamente as multinacionais SANBRA e Anderson Clayton, que forçaram a baixa dos preços para os produtores nordestinos.

Para Djalma Maranhão (1985), era impossível pensar em uma Natal próspera, ou até mesmo em um Brasil próspero e justo, sem antes reivindicar a soberania econômica do país. Suas ações como prefeito, são expressões práticas de seu discursos parlamentares os quais exprimem sua visão nacionalista. A conexão entre a exploração nacional e a pobreza urbana é representada em uma das falas mais marcantes do ex-prefeito: "Enquanto o Brasil for um País dependente, seremos um povo pobre, um País de mendigos (Maranhão, 1985)".

Djalma Maranhão via a dependência externa como a causa da pobreza local e afirmava que o verdadeiro problema para o desenvolvimento brasileiro não eram os gastos internos, e sim a "pressão, a subjugação imperialista, a nossa dependência econômica às forças de capital monopolizadas (Maranhão, 1985)". Essa visão do país como vítima de uma espoliação estrangeira explica por que, ao assumir a prefeitura, sua prioridade foi utilizar os recursos municipais para beneficiar diretamente o povo local, firmando sua oposição ao modelo imperialista combatido no parlamento. Os discurso parlamentares são uma das representações que compõem a visão de cidade do ex-gestor da capital potiguar, as quais exprimem o ideal nacionalista e, em especial, da defesa dos operários nordestinos abusados pelas grandes empresas imperialistas.

- A CIDADE E OS PLANOS SOCIAIS

A "visão de cidade" de Djalma Maranhão, expressa em suas crônicas e discursos parlamentares, materializou-se em um conjunto de planos sociais que buscavam transformar a realidade urbana de Natal. Sua administração se insere no horizonte do

nacionalismo de esquerda que ganhou força no Brasil entre as décadas de 1950 e 1960. Este movimento, como aponta Machry (2017), defendia um projeto de desenvolvimento autônomo, com forte apelo popular e crítico à dependência externa, buscando a emancipação econômica e a inclusão das massas. A trajetória de Maranhão, desde sua participação no Partido Comunista Brasileiro (PCB) e na Intentona Comunista de 1935, consolidou uma visão de mundo que priorizava a cultura popular e a educação como ferramentas de emancipação, e a participação democrática como método de gestão. Seus planos sociais foram, portanto, a expressão direta dessa ideologia na paisagem e na vida social natalense.

A ação com maior repercussão foi a campanha "De Pé no Chão Também se Aprende a Ler". Gois (1999), então Secretário de Educação, relata que a campanha não era apenas um programa de alfabetização, mas um trabalho engajado na emancipação nacional. O objetivo era usar a educação como forma de desenvolver a criticidade democrática e a conscientização popular. As "Escolinhas" da campanha foram criadas a partir de uma solução simples e participativa, sem a necessidade de construir prédios formais, alguns como acampamentos. Elas funcionavam em espaços cedidos gratuitamente pela própria comunidade após um apelo da Prefeitura. A estrutura dos "Acampamentos Escolares" de algumas Escolinhas, foi uma solução arquitetônica para as áreas mais populosas: eram grandes galpões feitos com materiais regionais e de baixo custo, descritos por Djalma Maranhão como uma "construção autenticamente obra de Cultura Popular" feita de palha de coqueiro e barro batido. As Escolinhas foram estrategicamente feitas dentro da comunidade para facilitar o acesso ao ensino.

As próprias frases aprendidas pela população que estava sendo alfabetizada eram uma forma de representação do imaginário de Maranhão. Frases como "o voto é do povo" exemplificam o caráter de "educar para a Democracia" que a campanha objetivava. Gois (1999) representa em seu livro a emergência pelo ensino democratizante e cultural que a campanha buscava resgatar:

"Fica claro, portanto, o mais profundo sentido dialético da revolução popular que não é um fim, porém um meio de conseguir a libertação total do povo, fazendo-o construtor do seu destino e NENHUM POVO É DONO DO SEU DESTINO SE ANTES NÃO É DONO DE SUA CULTURA"(Esta foi a síntese da intervenção definindo o ponto de vista sobre cultura popular, apresentada pelo professor Geniberto Campos, refletindo o pensamento da Campanha de Pé no Chão Também se Aprende a Ler, no 1º Encontro de Alfabetização e Cultura Popular, realizado no Recife, em 1963, sob os auspícios do Ministério de Educação e Cultura)."

Maranhão (1999) via a cultura popular como a alma de Natal. Sua visão é expressa em seu livro sobre Câmara Cascudo em que ele fala: "a defesa do Folclore Brasileiro implica na legítima defesa da Cultura Popular". Maranhão restaurou todos os autos populares na autêntica revalidação do folclore natalense, dando apoio financeiro a 21 conjuntos folclóricos para garantir sua perpetuação.

Essa valorização da cultura se materializou no espaço urbano por meio das Praças de Cultura. Essas praças não eram apenas áreas de lazer, mas complexos que integravam parque infantil, quadra de esportes e uma biblioteca popular. Como detalha Ribeiro (2008), esses espaços livres eram concebidos como centros de convivência que

buscavam democratizar o acesso à cultura e ao lazer, oferecendo programação com feiras de livros, música e exposições. Essa iniciativa era a concretização da cidade imaginada que Maranhão descreveu em suas crônicas, onde o espaço urbano funcionava como uma "universidade popular".

A criação do Conselho Municipal de Turismo e a promoção de eventos como o Carnaval eram vistos como ferramentas para fortalecer a economia e a identidade local. Conforme argumenta Oliveira (2024), festas como o carnaval são essenciais para o espaço urbano, pois criam ilhas de liberdade onde os cidadãos podem se reapropriar da cidade. Ao promover o carnaval e fóruns de discussão sobre a realidade social, Maranhão incentivava essa reapropriação, transformando o espaço público em local para a expressão cultural e a contestação.

Maranhão buscava um processo de gestão participativa, como os fóruns de discussão. Os planos sociais de Maranhão não apenas transformaram a paisagem, mas também buscaram redefinir a própria relação entre o poder público e a população, colocando a participação popular como ferramenta para a reflexão político-técnica de sua visão de cidade. A educação, juntamente à cultura popular, defendidas pelo ex-gestor são mecanismos essenciais na construção nacionalista e do criticismo, que tem por objetivo criar cidadãos politicamente conscientes. A consciência política mostra-se importante na cobrança dos políticos, a fim de construir uma urbe mais democrática e justa.

Conclusão

O presente plano de trabalho alcançou seus objetivos, partindo da análise inicial sobre a atuação da Câmara Municipal de Natal para avançar na compreensão da história cultural sobre a cidade: a "visão de cidade" de Djalma Maranhão. Apesar dos desafios metodológicos encontrados, como as dificuldades na transcrição de fontes e no acesso a arquivos, a pesquisa conseguiu articular documentos oficiais, periódicos e os próprios escritos do ex-prefeito, cumprindo a meta de começar a delinear os contornos de seu projeto político e social para a capital potiguar entre 1956 e 1964, bem como o papel da Câmara Municipal do período investigado, 1948 a 1956.

A atuação de Maranhão expressa uma visão democrática, nacionalista e emancipatória da população por meio de intervenções urbanas. A análise tem demonstrado que seu projeto se alicerçava na integração de três pilares: a educação como ferramenta de emancipação popular, a cultura como instrumento de identidade e apropriação do espaço público, e o urbanismo como meio de promover justiça social. Outro elemento fundamental que emergiu foi a participação popular, não apenas como um discurso, mas como um método de gestão que buscava construir a cidade em diálogo direto com a comunidade.

Como desdobramentos, esta pesquisa aponta para a necessidade de aprofundar os dados já coletados. Uma análise aprofundada e transcrições das atas da Câmara Municipal de 1955 e 1956 (assim como dos anos seguintes), obtidas tardiamente, poderá revelar com mais detalhes a recepção e os debates em torno dos primeiros projetos da gestão de Maranhão. Perspectivas futuras incluem também a busca por novas fontes ou

documentos que ainda não tivemos acesso devido a instabilidade do Labim, como dissertações, monografias e documentos administrativos da prefeitura. Além disso, abre-se a possibilidade de estudos sobre a memória e o apagamento do legado de Djalma Maranhão no espaço urbano e na consciência coletiva de Natal devido ao golpe de 1964.

Referências

FUNDAÇÃO JOSÉ AUGUSTO. Djalma Maranhão. Natal: Fundação José Augusto, s.d. Disponível em: Djalma Maranhão - Fundação José Augusto .pdf. Acesso em: ago. 2025.

MARANHÃO, Djalma. Pensamento Político. [S.I.]: CERN, 1985.

OLIVEIRA, Alessandra. As experiências em torno da festa e a crise do urbano. In: SEMINÁRIO DE HISTÓRIA DA CIDADE E DO URBANISMO, 18º, 2024, Natal. Anais [...]. Natal: UFRN, 2024. Disponível em: www.even3.com.br/anais/18-shcu-seminario-historia-cidade-urbanismo. Acesso em: ago. 2025.

MORAES, Lincoln. Djalma Maranhão: roteiro para uma bibliografia. Natal: [s. n.], 1995.

GORELIK, Adrián. Miradas sobre Buenos Aires: Historia cultural y crítica urbana. Madrid: Siglo XXI de España Editores, 2024.

MARANHÃO, Djalma. Esquina da Tavares de Lira com a DR. Barata, Centro Convergente e Irradiador da Vida Norte-riograndense. Organização de Claudio Galvão. Natal: Sebo Vermelho, 2004.

MATSUMOTO, Carlos Eduardo Higa; FRANCHINI, Matías; MAUAD, Ana Carolina Evangelista. Município: palco da vida – a história do municipalismo brasileiro. v. 1. Brasília: Confederação Nacional de Municípios, 2012.

MACHRY, Marcos Santos. O horizonte nacionalista de esquerda e a Revista Brasiliense (1955-1964): sociabilidade intelectual e linguagem política. 2017. 208 f. Dissertação (Mestrado em História) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

RIBEIRO, Isa Paula Zacarias. As Praças de Cultura no governo Djalma Maranhão (1960-1964). 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em História) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

GOIS, Moacyr de. 2 livros de Djalma Maranhão no exílio. Natal: Prefeitura Municipal do Natal, 1999

MARANHÃO, Djalma. Cascudo - Mestre do Folclore Brasileiro. Natal: Sebo Vermelho, 1999.

PESAVENTO, Sandra. História e História Cultural. São Paulo: Autêntica, 2003.

ACERVO CÂMARA MUNICIPAL DE NATAL. Atas das sessões ordinárias, Natal, entre 1948 e 1956 [Base de dados do HCUrb].

O POTI. Natal. 1955-1985. Disponível em: <<http://bndigital.bn.br/hemeroteca-digital/>>.

DIÁRIO DE NATAL. Natal. 1948-1989. Disponível em:
<<http://bndigital.bn.br/hemeroteca-digital/>>.

A ORDEM. Natal. 1951-1964. Disponível em: <<http://bndigital.bn.br/hemeroteca-digital/>>.

<<http://bndigital.bn.br/hemeroteca-digital/>>.

Anexos



Prefeitos de Natal até a Ditadura

CÓDIGO: HS1723

AUTOR: FILIPE LUCAS RIBEIRO FERNANDES

ORIENTADOR: BIANCA CARLA DANTAS DE ARAUJO

TÍTULO: AVALIAÇÃO SONORA DE PRAÇAS HISTÓRICAS EM NATAL-RN:
medições sonoras e mapa de ruído

Resumo

A poluição sonora é um dos principais desafios ambientais enfrentados pelas cidades, afetando a saúde e a qualidade de vida da população. Em Natal/RN, os espaços públicos desempenham papel essencial como áreas de convivência e lazer, especialmente nas praças históricas, que além de seu valor cultural, funcionam como locais de manifestações sociais e atividades cotidianas. Este estudo tem como objetivo realizar uma avaliação sonora das praças Sete de Setembro e André de Albuquerque, situadas no bairro Cidade Alta, em Natal/RN, a partir de medições sonoras in loco e da elaboração de mapas de ruído com o software Predictor-LimA. As medições foram realizadas em pontos estratégicos dentro das praças, com equipamentos de alta precisão, considerando condições ambientais, fluxos de pessoas e veículos. A análise reforça a importância de políticas públicas voltadas para o controle do ruído urbano e a valorização das praças históricas, garantindo a preservação de seu valor patrimonial e a melhoria da qualidade de vida dos frequentadores.

Palavras-chave: Poluição sonora. Mapa de ruído. Praças históricas. Medições sonoras.

TITLE: SOUND ASSESSMENT OF HISTORIC SQUARES IN NATAL-RN: Sound Measurements and Noise Map

Abstract

Noise pollution is one of the main environmental challenges faced by cities, affecting public health and quality of life. In Natal/RN, public spaces play a key role as areas for social interaction and leisure, particularly in historic squares, which, in addition to their cultural value, serve as venues for social movements and everyday activities. This study aims to conduct a sound assessment of the Sete de Setembro and André de Albuquerque squares, located in the Cidade Alta neighborhood of Natal/RN, through on-site sound measurements and the creation of noise maps using the Predictor-LimA software. Measurements were taken at strategic points within the squares, using high-precision

equipment, while considering environmental conditions, pedestrian and vehicle flows. The analysis emphasizes the importance of public policies focused on controlling urban noise and enhancing the value of historic squares, ensuring the preservation of their heritage and the improvement of the quality of life for visitors.

Keywords: Noise pollution. Noise map. Historic squares. Sound evaluation.
Predic

Introdução

A poluição sonora é reconhecida como um dos principais problemas ambientais das cidades modernas, impactando diretamente a saúde e o bem-estar da população. Diversos estudos apontam seus efeitos negativos, incluindo estresse, distúrbios do sono, perda auditiva e comprometimento da qualidade de vida urbana. No Brasil, a gestão do ruído urbano ainda enfrenta desafios quanto ao monitoramento sistemático e à implementação de medidas de mitigação, apesar de avanços como a publicação da NBR 10151 (ABNT, 2019) e legislações municipais específicas.

Entre os espaços públicos mais afetados pelo excesso de ruído encontram-se as praças, tradicionalmente concebidas como locais de encontro, lazer e manifestações culturais. Em Natal/RN, destacam-se a Praça Sete de Setembro e a Praça André de Albuquerque, ambas localizadas no bairro Cidade Alta e com grande relevância histórica e simbólica. A Praça Sete de Setembro, também conhecida como Praça dos Três Poderes, abriga em seu entorno edifícios emblemáticos como o Palácio Potengi, o Tribunal de Justiça e a Assembleia Legislativa, sendo palco frequente de manifestações políticas e sociais (NOBRE; QUEIROZ, 2023). Já a Praça André de Albuquerque, conhecida como Praça Vermelha, é considerada o marco inicial da cidade de Natal, tendo passado por diversas reformas ao longo do tempo, mas atualmente apresenta sinais de abandono e precariedade, ainda que mantenha atividades culturais espontâneas promovidas por seus frequentadores (BARBOSA et al., 2016).

A preservação das praças históricas demanda não apenas intervenções arquitetônicas e urbanísticas, mas também a consideração dos aspectos acústicos que afetam a experiência de uso desses espaços. Nesse sentido, os mapas de ruído surgem como ferramentas fundamentais para identificar e monitorar a distribuição espacial dos níveis sonoros, subsidiando políticas públicas de gestão ambiental e de valorização do patrimônio cultural.

Este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação sonora das praças Sete de Setembro e André de Albuquerque, em Natal/RN, a partir de medições em campo e da elaboração de mapas de ruído utilizando o software Predictor-LimA. Busca-se compreender a dinâmica acústica desses espaços e contribuir para a formulação de estratégias de preservação e melhoria da qualidade ambiental em praças históricas da cidade.

Metodologia

2.1 Seleção do Recorte Espacial

O recorte espacial deste estudo abrangeu duas praças históricas localizadas no bairro da Cidade Alta, em Natal/RN: a Praça Sete de Setembro e a Praça André de Albuquerque (Figura 01).

A Praça Sete de Setembro, inaugurada em 1914, está situada no entorno de edificações históricas de grande relevância, como o Palácio Potengi (atual Pinacoteca do Estado), o Tribunal de Justiça e a Assembleia Legislativa. Conhecida também como Praça dos Três Poderes, constitui-se como um espaço simbólico da cidade, sendo utilizada tanto para o descanso cotidiano quanto como palco de manifestações políticas e sociais (NOBRE; QUEIROZ, 2023) (Figura 2).

A Praça André de Albuquerque, também chamada de Praça Vermelha, é considerada o marco inicial da cidade de Natal, localizada em frente à Igreja Matriz de Nossa Senhora da Apresentação. Ao longo do tempo passou por diversas transformações arquitetônicas e paisagísticas, mas atualmente apresenta sinais de abandono e precariedade estrutural. Apesar disso, ainda é utilizada pela população local para atividades culturais e de lazer, como rodas de samba, caminhadas e práticas esportivas (BARBOSA et al., 2016) (Figuras 3 e 4).

Ambas as praças fazem parte do polígono de tombamento da cidade de Natal-RN e do seu entorno, delimitada pelo IPHAN. Além disso, foram beneficiadas por investimentos do PAC Cidades Históricas, que visou a requalificação e preservação do patrimônio histórico brasileiro (PREFEITURA DO NATAL, 2013). A praça Sete de Setembro foi entregue em 2018. Já a praça André de Albuquerque passou por uma reforma de 2019 até 2021. Apesar disso, já é perceptível a falta de manutenção nos locais.

A escolha dessas praças se justifica tanto pelo seu valor histórico quanto pela sua relevância como espaços públicos de convivência, permitindo compreender como o ambiente acústico interfere na apropriação e preservação do patrimônio cultural.

2.2 Medições sonoras

As medições sonoras foram realizadas em nove pontos distribuídos nas praças Sete de Setembro (P1 a P4) e André de Albuquerque (P5 a P9), definidos a partir da observação de fluxos de pedestres, tráfego veicular e usos característicos de cada espaço (Figura 5). Cada medição teve duração de 5 minutos, com contagem de veículos simultaneamente. A campanha de medição foi executada no dia 10 de abril de 2025, no período da tarde, entre 14h45 e 15h56. O medidor de Nível de Pressão Sonora foi posicionado a 1,20 metros de altura e a aproximadamente 2 metros de edificações, obstáculos ou superfícies refletoras, em conformidade com a NBR 10151 (ABNT, 2019).

O equipamento utilizado foi o Medidor de Nível de Pressão Sonora 01dB, modelo SOLO SLM – Classe 1, devidamente calibrado antes do início das medições. As condições ambientais, registradas durante a coleta, foram de 29,3°C de temperatura do

ar e 74% de umidade relativa do ar, sem ocorrência de chuvas ou ventos significativos que pudessem comprometer a precisão dos dados.

Além do registro do nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}) em cada ponto, foi realizada a contagem de veículos por categoria (leves, pesados e motocicletas), bem como anotações das principais fontes sonoras percebidas (ex.: tráfego, buzinas, sons de pássaros, conversas, atividades culturais). Esses dados foram posteriormente utilizados na calibração do modelo de simulação no software Predictor-LimA.

2.3 Simulação do mapa de ruído

Os dados coletados foram processados e inseridos para a elaboração do mapa de ruído, no software Predictor-LimA (Figura 8 e 9). Segundo Pinto et al. (2004), a elaboração de mapas de ruído costuma ser estruturada em quatro etapas principais:

Definição da “área do mapa” e da “área de estudo”;

Levantamento de dados;

Cálculo do mapa de ruído;

Calibração do mapa de ruído.

Na primeira etapa, recomenda-se delimitar uma “área de estudo” mais ampla do que a “área do mapa”, já que fontes sonoras localizadas fora da área mapeada podem influenciar significativamente os níveis de ruído. A distância a ser considerada varia de acordo com a natureza e intensidade da fonte emissora, bem como das características de ocupação do solo no entorno (PINTO et al., 2004).

A simulação do mapa de ruído foi realizada com dados da forma urbana extraídos de uma base cadastral georreferenciada, contemplando a topografia, os volumes e alturas das edificações, as áreas verdes e a malha viária. Para caracterizar as fontes sonoras, foram inseridas informações relativas à velocidade e ao fluxo de veículos, à largura das vias e ao tipo de recobrimento do solo. Já os dados obtidos por medições em campo foram utilizados na calibração do modelo, isto é, na verificação da correspondência entre os valores simulados e os medidos.

Na etapa de cálculo do mapa, é necessário definir os parâmetros da simulação, tais como número de pontos de cálculo, altura de referência, quantidade de reflexões, normas e legislações adotadas, além dos indicadores de níveis sonoros ($L_{Aeq,d}$; $L_{Aeq,n}$; L_{den} , entre outros). Essas variáveis determinam a complexidade e a duração do processamento, sendo próprias do modelo utilizado e dependentes tanto do grau de precisão almejado quanto da escala de representação do mapa (PINTO et al., 2004, apud Cortês, 2013).

Resultados e Discussões

Os resultados obtidos revelam diferenças significativas entre os pontos medidos em cada praça, conforme sintetizado no Quadro 1, presente nos anexos. O Quadro 2 apresenta uma análise comparativa entre os dados medidos e simulados nos pontos de medições, inseridos no programa como receptores.

Na Praça Sete de Setembro, o ponto mais crítico foi a esquina (P1), que registrou 72,9 dB, valor acima do limite recomendado pela NBR 10151 (ABNT, 2019) para áreas de lazer externas (55 dB no período diurno), devido a presença de um ponto de ônibus no local com veículos pesados parando no local. Os pontos internos (P2, P3 e P4) apresentaram valores próximos de 54 a 55 dB, mais compatíveis com usos recreativos, ainda que ligeiramente acima dos parâmetros ideais.

Na Praça André de Albuquerque, os valores variaram entre 57,1 dB (P6) e 65,8 dB (P5). A heterogeneidade dos níveis sonoros foi explicada tanto pelo tráfego veicular em pontos de esquina quanto pelas atividades humanas espontâneas registradas em alguns momentos. O Ponto 8 (Obelisco) apresentou o ambiente mais silencioso (57,7 dB), destacando-se como espaço de refúgio acústico dentro da praça.

Os mapas de ruído simulados no Predictor-LimA reforçaram esses resultados, mostrando maior exposição sonora nas bordas voltadas para o tráfego e valores mais baixos nas áreas internas. Essa distribuição evidencia a necessidade de estratégias de mitigação, como barreiras vegetais, controle de tráfego e requalificação urbanística voltada para a valorização do ambiente acústico.

Conclusão

A avaliação sonora das praças Sete de Setembro e André de Albuquerque, localizadas no bairro da Cidade Alta em Natal/RN, evidenciou que ambos os espaços estão expostos a níveis de pressão sonora superiores aos limites recomendados pela NBR 10151 (ABNT, 2019) e pela Organização Mundial da Saúde (OMS), especialmente nos pontos de maior proximidade com vias de tráfego intenso.

Na Praça Sete de Setembro, os resultados mostraram contraste entre áreas internas mais silenciosas, com valores próximos a 55 dB, e bordas sujeitas ao tráfego de veículos, onde foi registrado o nível máximo de 72,9 dB. Esse resultado demonstra a influência direta do transporte urbano na qualidade acústica do espaço.

Já na Praça André de Albuquerque, os níveis variaram entre 57,1 dB e 65,8 dB, refletindo uma combinação de ruídos provenientes de veículos, motocicletas e também de atividades culturais espontâneas promovidas pelos frequentadores. Nesse caso, observou-se maior heterogeneidade da paisagem sonora, com pontos mais tranquilos, como a área do Obelisco, em contraste com esquinas de maior circulação.

Os mapas de ruído elaborados no Predictor-LimA reforçaram essas observações, indicando que as bordas das praças são as áreas mais vulneráveis à poluição sonora, enquanto as regiões centrais apresentam maior potencial para lazer e contemplação, embora ainda acima dos padrões ideais de conforto acústico.

Conclui-se que a gestão e preservação das praças históricas deve considerar a dimensão sonora como parte integrante das estratégias de revitalização urbana. Medidas como a implantação de barreiras vegetais, o controle do tráfego em vias lindeiras, a valorização de áreas centrais como refúgios acústicos e a promoção de eventos culturais planejados podem contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos usuários e para a valorização do patrimônio histórico-cultural da cidade.

Referências

ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BARBOSA, A. B.; SIMPLÍCIO, L. L.; MENESES, M. B.; FERNANDES, P. S.; OLIVEIRA, M. V. F. A Praça André de Albuquerque como espaço específico de lazer: sobre o olhar de seus frequentadores. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN (IFRN), 2016.

CORTÊS, Marina Medeiros. Morfologia e qualidade acústica do ambiente construído: Estudo de caso em Petrópolis, Natal/RN. 2013. 129 p. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

FLORÊNCIO, Débora Nogueira Pinto. Avaliação do mapa sonoro de tráfego veicular no município de Natal/RN. 2018. 209 p. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

NOBRE, Paulo José Lisboa; QUEIROZ, Ana Karla Pires de Sousa. Transformações e permanências na paisagem histórica: a Praça Sete de Setembro no Centro Histórico de Natal/RN. Contemporânea – Revista de Ética e Filosofia Política, v. 3, n. 6, p. 4827-4849, 2023. DOI: 10.56083/RCV3N6-009.

PINTO, Francisco Ramos; GUEDES, Margarida Guedes; LEITE, Maria João. Projecto-piloto de demonstração de mapas de ruído - escalas municipal e urbana. Portugal: Instituto do Ambiente, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL. Bairros de Natal. Secretaria Municipal do meio ambiente e Urbanismo. - 2. ed. - Natal: SEMURB, 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL. Natal foi contemplada com dez projetos no PAC Cidades Históricas. 2013. Disponível em: <https://natal.rn.gov.br/news/post2/16953>. Acesso em 29 de Jun de 2023;

RIO DE JANEIRO (RJ). Lei nº 7.479, de 27 de julho de 2022. Dispõe sobre a elaboração do mapa de ruído urbano da Cidade do Rio de Janeiro e dá outras providências. Rio de Janeiro: Câmara Municipal, 2022.

SÃO PAULO (SP). Lei nº 16.499 de 20 de julho de 2016. Dispõe sobre a elaboração do Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo e dá outras providências. São Paulo: Câmara Municipal, 2016.

Anexos



Figura 1. Limites do bairro Cidade Alta com destaque em vermelho para as praças Sete de Setembro (praça menor) e André de Albuquerque (praça maior). Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal do Natal, 2010.



Figura 2. Foto da praça Sete de Setembro. Fonte: <http://portal.iphan.gov.br/noticias/detalhes/4948>



Figura 3 e 4. Fotos da praça André de Albuquerque. Fontes: <https://brechando.com/2015/10/23/foi-nesta-praca-que-natal-foi-fundada/> ; https://www.flickr.com/photos/jefferson_pereira_silva/8013120077



Figura 5. Área do mapa (contorno branco), área de simulação (contorno preto) e pontos de medições nas duas praças. Fonte: Google Earth, adaptado pelos autores.



Figura 6 e 7. Foto da medição em campo e do Sonômetro SOLO SLM da 01dB, respectivamente. Fonte: Acervo pessoal.



Figura 8. Modelagem no Predictor LimA. Fonte: Acervo pessoal.



Figura 9. Simulação do mapa de ruído. Fonte: Acervo pessoal.



Quadro 1: Resultados das medições sonoras (LAeq) nas praças históricas de Natal/RN.
Fonte: Acervo pessoal.



Quadro 2: Calibração - comparação dos dados das medições com os simulados no mapa de ruído. Fonte: Acervo pessoal.

CÓDIGO: HS1757

AUTOR: MARIA JÚLIA DE BRITO CÂMARA

ORIENTADOR: ANGELA LUCIA DE ARAUJO FERREIRA

TÍTULO: TERRITÓRIOS DA CENA: INVENTÁRIO E REPRESENTAÇÕES DOS ESPAÇOS TEATRAIS POTIGUARES.

Resumo

A memória arquitetônica dos teatros do Rio Grande do Norte permanece dispersa e pouco estudada, revelando uma lacuna para compreender a relação entre a produção cultural e a configuração urbana do estado. Esses edifícios, mais do que sua função cênica, materializam também relações sociais, assumindo papéis distintos ao longo do tempo. O objetivo é discutir a inserção dos significados históricos e sociais na configuração dos espaços cênicos potiguar, a partir da sistematização de um inventário. Para tanto, foram reunidos dados documentais, elaborados materiais gráficos e análises georreferenciadas, integrados à plataforma Espacios Escénicos, que organiza um atlas digital internacional de teatros. O levantamento identificou 49 equipamentos, cuja distribuição revelou concentração em Natal e alguns polos, em contraste com a escassez em municípios menores. A cronologia evidenciou ciclos descontínuos: a monumentalidade da Belle Époque com o Teatro Alberto Maranhão, a expansão dos cineteatros nas décadas de 1930-40, e a inovação democrática do Teatro Sandoval Wanderley, que aproximou a cena teatral dos bairros populares. Os resultados apontam para a diversidade tipológica da arquitetura teatral potiguar e para a fragilidade de sua conservação, já que apenas metade dos teatros se encontra em funcionamento. Conclui-se que a integração entre documentação, representação gráfica e difusão digital é estratégica para ampliar a valorização do patrimônio teatral do estado.

Palavras-chave: Patrimônio. Cultura. Arquitetura teatral. Espaço cênico. Fenomenologia

TITLE: Territories of Performance: Inventory and Representations of Theatrical Spaces in Rio Grande do Norte.

Abstract

The architectural memory of theaters in Rio Grande do Norte remains dispersed and little studied, leaving a gap in understanding how cultural production relates to the state's urban configuration. These buildings, beyond their scenic role, also embody social relations and have taken on different meanings over time. This study examines

how historical and social values are embedded in Potiguar performance spaces through the systematization of an updated inventory. Documentary data, architectural drawings, and georeferenced analyses were gathered and integrated into the Espacios Escénicos platform, which organizes an international digital atlas of theaters. The survey identified 49 facilities, concentrated mainly in Natal and a few regional centers, contrasting with their scarcity in smaller towns. The chronology revealed discontinuous cycles: the Belle Époque monumentality of the Alberto Maranhão Theater, the spread of movie-theaters in the 1930s–40s, and the democratic innovation of the Sandoval Wanderley Theater, which brought theater closer to popular neighborhoods. Results highlight the typological diversity of theater architecture in the state and the fragility of its preservation, since only half of the theaters remain active. The integration of documentation, graphic representation, and digital dissemination emerges as a strategic tool to foster recognition and appreciation of the state's theatrical heritage.

Keywords: Heritage. Culture. Theatre architecture. Stage space. Phenomenology.

Introdução

Apesar da forte tradição cultural do Rio Grande do Norte, manifestada em festas populares, produções profissionais e iniciativas amadoras, existe uma lacuna significativa nos estudos sobre os espaços arquitetônicos que acolhem essas práticas: os teatros. A memória desses edifícios permanece dispersa e fragmentada, sem inventários sistemáticos que permitam compreender seu papel na história urbana e cultural potiguar. Observa-se ainda que a produção arquitetônica teatral no estado é marcada por irregularidades e particularidades regionais e cronológicas, visíveis tanto na capital quanto em cidades do interior. Em Natal, por exemplo, convivem edifícios monumentais de palco italiano, salas modestas em bairros periféricos, arenas experimentais, espaços a céu aberto e grandes salas adaptadas em centros comerciais, erguidos em diferentes momentos do século XX.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a articulação histórica e atual dos espaços cênicos na configuração da morfologia urbana, territorial e da hierarquia cultural. Além disso, buscou-se analisar dois casos paradigmáticos — o Teatro Alberto Maranhão, inaugurado em 1904, e o Teatro Sandoval Wanderley, de 1962 — que sintetizam momentos distintos da experiência do espaço na cultura teatral local.

A investigação abrangeu as dimensões territorial, urbana e arquitetônica dos teatros do estado. O levantamento identificou 49 espaços cênicos, ativos e inativos, distribuídos pelas diferentes mesorregiões, permitindo observar tanto a concentração de equipamentos em Natal quanto a escassez em áreas interioranas. Os estudos de caso foram escolhidos não apenas pela relevância histórica e cultural, mas também pela disponibilidade de dados que possibilitaram o desenvolvimento de uma matriz metodológica de análise a ser futuramente ampliada aos demais teatros.

Metodologicamente, a pesquisa combinou levantamento documental em arquivos públicos e privados, redesenho arquitetônico em AutoCAD, análises georreferenciadas em QGIS e sistematização de informações em planilhas regionais. Esses dados foram

integrados à plataforma internacional Espacios Escénicos, sediada na ETSAB/UPC-Barcelona, que reúne teatros ibero-americanos em um atlas digital interativo. Essa estratégia não apenas permitiu organizar informações dispersas, mas também produziu um acervo gráfico e digital de alcance internacional, ampliando a visibilidade do patrimônio potiguar.

Os resultados obtidos colaboram para uma discussão acadêmica interdisciplinar, relevante para a arquitetura, artes cênicas, geografia, ciências sociais, antropologia, história e história da arte. Contribuem ainda para a formulação de políticas públicas de preservação e valorização patrimonial em âmbito municipal, estadual e federal, além de oferecer subsídios práticos para teatros públicos e privados, companhias teatrais, cenógrafos e agentes culturais.

O trabalho organiza-se em quatro seções principais: a metodologia, que detalha os procedimentos de coleta e sistematização; os resultados e discussão, que apresentam a rede teatral potiguar e suas análises; as conclusões, que sintetizam as contribuições e perspectivas da pesquisa; e os anexos, que reúnem material gráfico e tabelas produzidas ao longo da investigação.

Metodologia

A metodologia do trabalho foi estruturada de modo a articular levantamento documental, análise fenomenológica e produção de recursos gráficos capazes de consolidar um acervo arquitetônico atualizado sobre os espaços cênicos do Rio Grande do Norte. Partiu-se do princípio de que o estudo dos teatros não se limita à descrição textual, mas exige também a representação gráfica e a recuperação de documentos históricos para revelar a espacialidade e as transformações arquitetônicas desses edifícios. O enfoque metodológico privilegiou a documentação arquitetônica detalhada e a difusão digital dos resultados, visando à preservação e à acessibilidade pública das informações.

O resultado é uma base de informações que pode apoiar pesquisas acadêmicas, projetos de preservação e políticas públicas de cultura. A associação com a plataforma Espacios Escénicos potencializa ainda mais essa contribuição, pois integra os teatros potiguares a uma rede internacional de espaços cênicos, tornando visível a riqueza e diversidade da arquitetura teatral do Rio Grande do Norte, valorizando a criação de um acervo híbrido: textual, tabular e gráfico.

2.1 Levantamento e recuperação documental

A primeira etapa concentrou-se no levantamento de fontes primárias e secundárias. Foram consultados arquivos públicos e privados, bibliotecas, hemerotecas, acervos fotográficos e coleções pessoais. Entre os materiais encontrados destacam-se documentos, plantas arquitetônicas originais de teatros construídos entre os séculos XIX e XX, fotografias históricas que registram usos e reformas, programas de inauguração, catálogos de companhias teatrais e projetos de restauro, que possibilitaram a compreensão da história das edificações (Figura 01). Muitos desses documentos estavam dispersos ou em risco de perda, sem catalogação adequada. Sua reunião em um único repositório organizado

constitui uma contribuição significativa para a preservação da memória arquitetônica e cultural dos teatros potiguares. O esforço não se limitou à coleta: cada documento foi analisado criticamente, verificando-se autenticidade, contexto de produção e relação com a história urbana local.

2.2 Produção e sistematização de recursos gráficos

A segunda etapa foi dedicada à elaboração de representações gráficas atualizadas, a partir da vetorização e redesenho das plantas arquitetônicas recuperadas. O trabalho gráfico concentrou-se em dois teatros paradigmáticos — Alberto Maranhão e Sandoval Wanderley —, mas também incluiu outros espaços relevantes para a rede cultural do estado. Foram produzidas plantas baixas atualizadas, cortes longitudinais e transversais, fachadas comparativas e diagramas funcionais, que revelam não apenas a materialidade dos edifícios, mas também seus fluxos de uso, acessibilidade e setorização.

Além disso, foram criados mapas temáticos de localização georreferenciada dos teatros no território potiguar, permitindo compreender sua distribuição por mesorregiões e núcleos urbanos. Esse processo viabilizou a análise territorial, identificando centralidades culturais, áreas de carência e períodos de maior concentração de construções. As peças gráficas foram elaboradas em AutoCAD, para o desenho técnico e precisão métrica (Figura 02), e em QGIS, para o mapeamento georreferenciado, integrando coordenadas reais aos registros arquitetônicos. Softwares de edição gráfica auxiliaram no acabamento e padronização dos desenhos, garantindo qualidade visual e uniformidade de linguagem.

2.3. Inventário digital e organização em planilhas

A terceira etapa consistiu na sistematização dos dados em planilhas e fichas (Figura 03), na qual cada teatro foi registrado com informações detalhadas: localização, tipologia arquitetônica (palco italiano, arena, cineteatro, espaços adaptados etc.), capacidade, ano de inauguração, reformas realizadas, estado de conservação, situação atual (ativo/inativo) e regime de propriedade (público/privado). Essa estrutura em formato de banco de dados não apenas facilitou a comparação entre regiões e períodos históricos, mas também possibilitou gerar gráficos e tabelas de distribuição espacial e temporal. O inventário digital é de caráter dinâmico, podendo ser constantemente atualizado com novos dados ou correções. Os recursos gráficos produzidos foram vinculados às fichas descritivas, resultando em um acervo integrado de texto, imagem e desenho técnico.

2.4 Alimentação da plataforma Espacios Escénicos

Com os dados sistematizados, realizou-se a inserção das informações e representações gráficas na plataforma Espacios Escénicos (Figura 04). A base, coordenada internacionalmente, conta com um atlas digital que disponibiliza um mapa georreferenciado interativo, onde cada teatro aparece localizado no território potiguar. Essa integração espacial foi possível graças ao trabalho prévio de georreferenciamento, assegurando consistência cartográfica. A plataforma passou, assim, a reunir não apenas descrições históricas e arquitetônicas, mas também mapas e imagens dos teatros potiguares, oferecendo acesso aberto a pesquisadores, gestores culturais, artistas e ao público em geral. A difusão em escala internacional representa uma das contribuições mais relevantes deste trabalho.

2.5 Experienciação fenomenológica e análise comparada

Complementando a dimensão documental e gráfica, adotou-se uma abordagem fenomenológica nos casos estudados. As visitas in loco, quando possíveis, permitiram observar a espacialidade vivida: a relação dos edifícios com o entorno urbano, as sequências de acesso, a percepção da luz natural e artificial, a ornamentação e os elementos que compõem a ambiência teatral. No caso do Teatro Sandoval Wanderley, fechado para obras, a análise fenomenológica foi substituída pelo exame detalhado de registros documentais e pelos desenhos reconstituídos a partir do material coletado. Essa triangulação entre experiência direta, documentação histórica e representação gráfica garantiu uma leitura mais abrangente e crítica dos espaço

Resultados e Discussões

O inventário realizado por trás deste trabalho permitiu traçar um panorama amplo e atualizado dos espaços cênicos do Rio Grande do Norte, revelando tanto a diversidade tipológica e histórica de seus teatros quanto os desafios de preservação e manutenção desses equipamentos culturais. Ao todo, foram identificados quarenta e nove espaços, entre ativos e inativos, distribuídos ao longo do tempo de forma desigual pelo território potiguar (Tabela 01). Tal levantamento, sistematizado em planilhas e posteriormente inserido na plataforma Espacios Escénicos, constituiu não apenas um esforço de documentação, mas também uma estratégia de preservação e difusão, já que os dados foram organizados em um formato acessível, comparável e integrado a um atlas digital internacional.

A análise espacial dos dados aponta para a centralidade da capital, Natal, que concentra dezesseis dos equipamentos registrados. Esse número confirma a tendência histórica de concentração cultural nas capitais, em detrimento do interior. Mossoró surge como segundo polo em importância, com seis teatros ativos ou desativados, confirmando seu papel como referência cultural do Oeste potiguar. Outras cidades como Caicó, Macau e Currais Novos aparecem de forma mais tímida, geralmente com espaços adaptados ou vinculados a casas de cultura municipais. O Agreste, por sua vez, apresenta grande carência de equipamentos formais, evidenciando um desequilíbrio territorial que condiciona o acesso da população a experiências teatrais presenciais. Essa disparidade territorial reforça a necessidade de políticas públicas que promovam a descentralização efetiva da infraestrutura cultural.

Do ponto de vista cronológico, o levantamento revelou a existência de ciclos bem definidos de implantação de teatros, o que sugere uma forte correlação entre os momentos de expansão e as conjunturas políticas, econômicas e sociais do estado. O início do século XX marcou o surgimento dos primeiros edifícios de porte, como o Teatro Alberto Maranhão, inaugurado em 1904, no bairro da Ribeira, em Natal. Sua construção insere-se no contexto da Belle Époque local, quando elites urbanas buscavam legitimar seu poder econômico e político por meio da monumentalidade arquitetônica e da assimilação de padrões culturais europeus. Já as décadas de 1930 e 1940 foram marcadas pelo florescimento dos cineteatros, que conjugavam funções cinematográficas e cênicas, e que

acompanharam tanto a difusão do cinema falado quanto o processo de urbanização acelerada. A presença militar norte-americana em Natal, durante a Segunda Guerra Mundial, também deixou marcas nesse cenário, com a adaptação de auditórios e espaços de lazer voltados ao entretenimento dos soldados.

Nas décadas de 1960 a 1980, observa-se um novo momento de inflexão, com o surgimento de espaços de arena e teatros experimentais. Esse movimento esteve vinculado a políticas culturais inovadoras, sobretudo na gestão de Djalma Maranhão, e teve como símbolo maior o Teatro Sandoval Wanderley, inaugurado em 1962 no bairro do Alecrim. Diferente do monumentalismo do Teatro Alberto Maranhão, o Sandoval Wanderley propunha uma experiência mais democrática, aproximando palco e plateia e favorecendo a relação direta entre atores e público. A opção pela tipologia de arena, associada ao modernismo arquitetônico e à simplicidade construtiva, reflete o ideário de democratização cultural e de acesso ampliado à arte. Finalmente, nas últimas décadas do século XX e início do XXI, a tendência predominante foi a criação de casas de cultura e centros multiuso, muitos em cidades médias do interior, resultado de políticas descentralizadoras que buscavam ampliar o alcance da produção cultural, ainda que em espaços mais modestos e menos especializados.

No que diz respeito às tipologias arquitetônicas (Tabela 02), o inventário mostra a coexistência de formas bastante distintas. De um lado, encontramos edifícios monumentais de palco italiano, herdeiros de uma tradição europeia, que serviam de símbolo de prestígio social e distinção cultural. Do outro, surgem arenas e espaços experimentais, cuja concepção privilegia a inclusão social e a proximidade com o público. Os cineteatros representam uma terceira vertente, marcada pela versatilidade e pela forte ligação com o lazer urbano. Já as casas de cultura e auditórios adaptados constituem formas mais contemporâneas, que expressam a busca por flexibilidade e pelo aproveitamento de estruturas existentes. A diversidade de tipologias confirma que a arquitetura teatral reflete, em cada período histórico, as relações de poder, as concepções de cultura e os projetos políticos em disputa.

A situação atual dos teatros potiguaros revela uma realidade complexa e, em muitos casos, preocupante. Apenas cerca da metade dos espaços mapeados encontra-se em atividade regular, com programação contínua e manutenção adequada. Muitos dos edifícios históricos, em especial os de maior porte, enfrentam longos períodos de fechamento devido a obras de restauração inacabadas, escassez de recursos ou falta de planejamento. O Teatro Sandoval Wanderley, por exemplo, encontra-se interditado há anos, com tentativas de reforma que não se concretizaram em reabertura efetiva. Mesmo o Teatro Alberto Maranhão, principal ícone arquitetônico da capital, passou por repetidas obras de restauro ao longo do século XXI, que alternaram momentos de revalorização e de indisponibilidade para o público. Em contrapartida, os equipamentos mais recentes, vinculados a casas de cultura municipais, apresentam vitalidade maior, ainda que em escala mais reduzida, funcionando como centros de referência para atividades comunitárias, cursos, oficinas e pequenos espetáculos.

A análise crítica desses resultados aponta para uma tensão central: os teatros históricos, símbolos de prestígio cultural e de identidade urbana, são também os que enfrentam os maiores desafios de conservação e sustentabilidade. Já os espaços contemporâneos, ainda que menos reconhecidos como patrimônio, revelam maior capacidade de adaptação e de

resposta às demandas locais. Essa dualidade exige uma reflexão sobre o papel das políticas culturais no equilíbrio entre preservação do patrimônio e fortalecimento da vida cultural cotidiana. É necessário pensar estratégias que garantam a manutenção e o uso contínuo dos teatros históricos, ao mesmo tempo em que se estimula a criação e o funcionamento de equipamentos acessíveis e descentralizados.

Outro aspecto fundamental diz respeito à difusão e à inserção internacional dos resultados. A alimentação da plataforma Espacios Escénicos representou um dos pontos altos do trabalho, ao permitir que os teatros potiguaros fossem incorporados a um atlas digital ibero-americano. Nesse ambiente, cada teatro do estado foi registrado com informações históricas, arquitetônicas e georreferenciadas, integrando um mapa interativo que torna visível sua localização e sua articulação territorial. O resultado é uma ferramenta que não apenas organiza o inventário, mas o torna acessível globalmente, permitindo comparações, análises e conexões com experiências de outros países.

Do ponto de vista fenomenológico, entende-se que os teatros não podem ser entendidos apenas como objetos arquitetônicos, mas como experiências vividas. Nas visitas in loco, foi possível perceber a relação dos edifícios com seus entornos, a monumentalidade ou simplicidade de suas fachadas, as sequências de acesso, a iluminação, a acústica e outros aspectos sensoriais que influenciam a percepção do público. No caso de edifícios interditados, como o Sandoval Wanderley, o recurso às plantas reconstituídas e aos registros históricos funcionou como estratégia para reconstruir, ainda que parcialmente, essa dimensão experiencial.

Em síntese, os resultados demonstram que a rede teatral do Rio Grande do Norte é marcada por desigualdades territoriais, ciclos históricos descontínuos, diversidade tipológica e fragilidades patrimoniais. A concentração de equipamentos em Natal contrasta com a carência de espaços no interior; a monumentalidade de ícones como o Alberto Maranhão convive com o abandono e o risco de desaparecimento de outros exemplares; e a vitalidade das casas de cultura municipais mostra que a produção cultural resiste mesmo diante da precariedade de infraestrutura. A inserção na plataforma Espacios Escénicos consolida essa realidade em escala internacional, permitindo que os teatros potiguaros sejam reconhecidos como parte de uma rede mais ampla de espaços cênicos ibero-americanos. O trabalho, assim, contribui para a preservação, a valorização e a reflexão crítica sobre o papel do teatro na construção da identidade cultural e urbana do estado.

Conclusão

A rede teatral do Rio Grande do Norte deve ser compreendida para além de seus edifícios físicos: os teatros são construções de sentido, vivenciadas corporal e sensorialmente, como destacam Heidegger, Merleau-Ponty e Pallasmaa. Nesse contexto, o espaço arquitetônico não apenas abriga, mas compõe a experiência cênica, integrando ator e espectador. A abordagem semiótica de Carlson (1989) reforça essa leitura, mostrando que o teatro, em suas escalas – do traçado urbano ao detalhe decorativo – é atravessado por códigos sociais e culturais de cada época.

Sob essa perspectiva, os teatros potiguares revelam-se parte de uma rede cultural que expressa tanto continuidades quanto rupturas históricas. O mapeamento realizado evidenciou quatro aspectos centrais: (i) a concentração dos principais equipamentos em Natal; (ii) ciclos descontínuos de implantação, do início do século XX à atualidade; (iii) coexistência de conservação, abandono e desaparecimento; e (iv) diversidade tipológica e de capacidade. Essa rede, embora rica, é marcada por desigualdades: ícones como o Teatro Alberto Maranhão recebem investimentos, enquanto outros, como o Teatro Sandoval Wanderley e espaços do interior, permanecem marginalizados.

Tais assimetrias revelam tensões entre centralidade e periferia, monumentalidade e precariedade, apontando para a necessidade de políticas públicas integradas que valorizem tanto os grandes ícones quanto espaços menores ou alternativos, igualmente importantes para a vitalidade cultural.

Como contribuição prática, a pesquisa organizou dados dispersos em fichas, registros gráficos e mapas georreferenciados, culminando no Atlas Teatral do Rio Grande do Norte. Esse instrumento subsidia ações de preservação, planejamento urbano e estímulo à produção cultural, além de integrar plataformas digitais como a Espacios Escénicos. A documentação em si é compreendida como forma de preservação, garantindo a memória coletiva mesmo diante da fragilidade material de muitos edifícios.

Os resultados já fundamentaram trabalhos em eventos científicos, reforçando a relevância acadêmica do tema. Para o futuro, sugerem-se três caminhos: comparações com outros estados, a fim de destacar especificidades regionais; estudos de recepção, que investiguem a relação entre público e espaço teatral; e acompanhamento longitudinal da conservação dos edifícios.

Assim, a arquitetura teatral potiguar afirma-se não só como cenário de práticas culturais, mas como testemunho vivo da história urbana e social do estado. Sua preservação e difusão – agora reforçadas por registros digitais – são fundamentais para valorizar a cultura, fortalecer a memória coletiva e compreender os processos de transformação territorial do Rio Grande do Norte.

Referências

ABADO, D.; CALBI, A.; MILESI, S. (Org.). *Architettura & teatro. Spazio, progetto e arti sceniche*. Milan: Il Saggiatore, 2007.

BARRETTO, D. C.; MOREIRA, F. D. Resistências à autonomização entre os gêneros artísticos e arquitetura no projeto moderno. *Oculum Ensaio*, v. 12, 2015. p. 269

BARRETTO, Diogo Cardoso; FERREIRA, Angela Lúcia de Araújo; CÂMARA, Maria Júlia de Brito. PALCOS DA HISTÓRIA: UM OLHAR FENOMENOLÓGICO SOBRE OS TEATROS ALBERTO MARANHÃO E SANDOVAL WANDERLEY. In: *Anais do 18º Seminário de história da cidade e do Urbanismo: Horizontes (Im)possíveis. Anais...Natal(RN) UFRN, 2024*. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/18->

shcu-seminario-historia-cidade-urbanismo/1006766-PALCOS-DA-HISTORIA--UM-OLHAR-FENOMENOLOGICO-SOBRE-OS-TEATROS-ALBERTO-MARANHAO-E-SANDOVAL-WANDERLEY. Acesso em: 04/06/2025

CARLSON, M. Places of Performace. The Semiotcis of Theatre. New York: Cornel University Press, 1989.

FERNÁNDEZ MUÑOZ, A. L. Arquitectura teatral (1950-2000), 2002, Disponível em Internet: <https://core.ac.uk/download/files/639/25072154.pdf>

FRAMPTON, K. Studies in Tectonic Culture. The MIT Press: Cambridge: 1995.

FRASCARI, M. O detalhe narrativo. In: NESBITT, K. Uma nova agenda para a arquitetura: antologia poética (1965-1995). São Paulo: Cosac Naify, 2008. p. 538-555.

GREGOTTI, V. O exercício do detalhe. In: NESBITT, K. Uma nova agenda para a arquitetura: antologia poética (1965-1995). São Paulo: Cosac Naify, 2008. p. 535-537.

LEATHERBARROW, D. Espaço dentro e fora da arquitetura. Arqtexto. n. 12. 1o sem. 2008. Disponível em:
<http://www.ufrgs.br/propar/publicacoes/ARQtextos/PDFs_revista_12/01_DL_espa%C3%A7o_300409.pdf>. Acesso em: 9 junho. 2023.

SHIRAZI, M. R. Towards an articulated phenomenological interpretation of architecture: phenomenal phenomenology. 1a Ed. London: Routledge, 2014.

Anexos



Figura 01



Figura 02



Figura 03



Figura 04



Tabela 01



Tabela 02

CÓDIGO: OU1473

AUTOR: GABRIEL ANDRADE SALES DO NASCIMENTO

ORIENTADOR: DANY GERALDO KRAMER CAVALCANTI E SILVA

TÍTULO: Avaliação da percepção de populares sobre lixo eletrônico em Jundiá

Resumo

RESUMO

O descarte inadequado de resíduos eletroeletrônicos (REEE) tem se consolidado como um desafio crescente em escala global, afetando diretamente o meio ambiente e a saúde pública. Em municípios de pequeno porte, como Jundiá-RN, essa problemática é intensificada pela ausência de infraestrutura adequada, pontos de coleta seletiva e políticas públicas efetivas de gestão de resíduos. Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar a percepção da população local sobre o lixo eletrônico, considerando aspectos relacionados à frequência de descarte, formas de destinação final e nível de conhecimento acerca dos riscos associados. A pesquisa, de natureza quantitativa e caráter descritivo, foi realizada com 75 moradores da zona urbana e rural, por meio da aplicação de questionários estruturados. Os resultados apontaram que, embora parte significativa da população reconheça os riscos do descarte inadequado, a prática predominante ainda é a destinação dos REEE no lixo comum, revelando uma discrepância entre percepção e ação. Conclui-se que há uma necessidade urgente de intensificar ações de educação ambiental e implementar pontos de coleta específicos, a fim de promover práticas mais sustentáveis e alinhar a comunidade local às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Palavras-chave: Resíduos eletrônicos. Consciência ambiental. Lixo eletrônico.

Descarte

TITLE: Assessment of public perception of electronic waste in Jundiá - RN

Abstract

ABSTRACT

The improper disposal of electronic waste (WEEE) has become a growing global challenge, directly affecting the environment and public health. In small municipalities like Jundiá, Rio Grande do Norte, this problem is exacerbated by the lack of adequate infrastructure, selective collection points, and effective public waste management policies. Given this scenario, this study aimed to assess the local population's perception of electronic waste, considering aspects related to disposal frequency, final disposal methods, and level of knowledge about the associated risks. The quantitative and descriptive study was conducted with 75 residents from urban and rural areas using structured questionnaires. The results showed that, although a significant portion of the population recognizes the risks of improper disposal, the predominant practice is still to dispose of WEEE in the regular trash, revealing a discrepancy between perception and action. It is concluded that there is an urgent need to intensify environmental education actions and implement specific collection points in order to promote more sustainable practices and align the local community with the guidelines of the National Solid Waste Policy.

Keywords: Electronic waste. Environmental awareness. Electronic waste. Disposal

Introdução

INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado do consumo de tecnologias digitais têm impulsionado o aumento expressivo da geração de resíduos eletroeletrônicos (REEE), também conhecidos como lixo eletrônico. Esses resíduos, compostos por dispositivos como celulares, computadores, televisores e eletrodomésticos, apresentam riscos ambientais e à saúde humana quando descartados de forma incorreta, devido à presença de metais pesados e substâncias tóxicas.

Segundo a Green Eletron (2023), embora 88 % dos brasileiros tenham conhecimento prévio sobre o conceito de lixo eletrônico, a maioria ainda acumula esses resíduos em casa ou os descarta no lixo comum, evidenciando uma lacuna entre a percepção e a prática. Essa problemática é ainda mais acentuada em pequenos municípios, onde frequentemente há ausência de pontos de coleta seletiva, infraestrutura pública adequada e campanhas de conscientização ambiental.

A Constituição Federal de 1988 estabelece, em seu artigo 225, que todos têm direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988). Nesse sentido, os resíduos eletroeletrônicos, que contêm substâncias

potencialmente tóxicas como chumbo, mercúrio e cádmio, representam um desafio à efetivação desse direito. Ainda que a Carta Magna não trate especificamente do lixo eletrônico, seus princípios ambientais embasam a criação de legislações infraconstitucionais, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que institui a responsabilidade compartilhada e a logística reversa para equipamentos eletroeletrônicos, regulamentada pelo Decreto nº 10.240/2020. Dessa forma, a gestão adequada desses resíduos se insere no cumprimento do mandamento constitucional de proteção ambiental, reforçando a necessidade de políticas públicas eficazes e de conscientização da população.

Os resíduos eletroeletrônicos apresentam riscos significativos à saúde humana e ao meio ambiente devido à presença de metais pesados e substâncias químicas tóxicas em sua composição. Elementos como chumbo, mercúrio, cádmio e arsênio, quando descartados inadequadamente, podem contaminar o solo e os recursos hídricos, além de provocar doenças neurológicas, respiratórias e cancerígenas em populações expostas (PEREIRA; ALMEIDA, 2020). Além dos impactos diretos à saúde, o acúmulo de lixo eletrônico em depósitos informais ou no ambiente favorece a poluição do ar por meio da queima de componentes plásticos, liberando dioxinas e furanos altamente prejudiciais (SANTOS; OLIVEIRA, 2020). Esses riscos evidenciam a necessidade de estratégias eficazes de gestão e conscientização da sociedade quanto ao descarte correto, uma vez que a má destinação final desses resíduos compromete não apenas a qualidade ambiental, mas também a saúde pública.

Jundiá, município potiguar com 3.283 habitantes (IBGE, 2022), exemplifica esse cenário. A população local apresenta características sociodemográficas diversas: de acordo com os dados coletados na presente pesquisa, 59 % dos entrevistados se identificaram como do sexo feminino e 41,3 % como do sexo masculino; 72 % residem na zona urbana, enquanto 28 % estão em áreas rurais. Esses dados são fundamentais para compreender o comportamento dos moradores quanto ao descarte de REEE e à consciência ambiental.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a percepção da população de Jundiá - RN acerca do lixo eletrônico, investigando o grau de conhecimento, as formas de descarte utilizadas e as possíveis barreiras enfrentadas pelos moradores. A partir dessa análise, pretende-se oferecer subsídios para ações educativas e políticas públicas voltadas à gestão adequada desses resíduos no contexto local.

Metodologia

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza quantitativa e de abordagem descritiva, voltado a compreender a percepção da população sobre o descarte de resíduos eletroeletrônicos no município de Jundiá-RN. A escolha dessa metodologia deve-se à possibilidade de quantificar dados obtidos por meio de questionários estruturados,

permitindo identificar padrões de comportamento e níveis de conhecimento da comunidade local. A abordagem descritiva, por sua vez, possibilita analisar e descrever a realidade investigada sem, contudo, interferir ou manipulá-la, apresentando um retrato fiel do contexto estudado, conforme orientam Gil (2017) sobre pesquisas de caráter exploratório-descritivo.

O estudo foi realizado no município de Jundiá, no Rio Grande do Norte, entre os meses de fevereiro e julho de 2025. Trata-se de um município de pequeno porte, com 3.283 habitantes (IBGE, 2022), o que torna relevante a análise sobre práticas de descarte de resíduos, visto que localidades menores frequentemente carecem de infraestrutura adequada de coleta seletiva e políticas públicas consolidadas. O recorte temporal considerou um período de seis meses, o que permitiu maior alcance no processo de aplicação dos questionários e contato com moradores de diferentes áreas do município.

A amostra foi composta por 75 moradores, selecionados por conveniência, abrangendo tanto a zona urbana quanto a rural do município. Embora não probabilística, a seleção por conveniência mostrou-se adequada diante da realidade local e da dificuldade de acesso a parte da população. Essa estratégia possibilitou contemplar diferentes perfis sociodemográficos, o que enriqueceu a análise comparativa entre variáveis como gênero, faixa etária, escolaridade e renda.

O instrumento de coleta utilizado foi um questionário estruturado de múltipla escolha, composto por 14 questões, organizadas em dois blocos temáticos. O primeiro bloco abordou o perfil sociodemográfico dos participantes, contemplando variáveis como sexo, área de residência, faixa etária, nível de escolaridade e renda familiar. O segundo bloco explorou a percepção e as práticas da população em relação ao descarte de lixo eletrônico, com questões sobre conhecimento prévio do tema, frequência de descarte, percepção dos riscos à saúde, formas de armazenamento e locais utilizados para o descarte dos resíduos. A utilização de questões fechadas buscou facilitar a tabulação e comparação dos dados obtidos.

Após a coleta, os dados foram organizados e tabulados no software Microsoft Excel, permitindo a sistematização das respostas. Posteriormente, foram convertidos em tabelas e gráficos com o objetivo de facilitar a visualização dos resultados e sua análise. As categorias de resposta foram codificadas numericamente e submetidas a procedimentos de estatística descritiva simples, com cálculo de frequência absoluta e relativa. Esse tratamento possibilitou identificar tendências de percepção e práticas relacionadas ao lixo eletrônico entre os participantes, subsidiando a discussão sobre os desafios da gestão de resíduos em municípios de pequeno porte.

Resultados e Discussões

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na pesquisa foram entrevistados 75 pessoas de Jundiá - RN, em sua maioria sendo 59% mulheres, 72% se encontravam na zona urbana, 56% com renda familiar até um salário mínimo, 56% que foram até o ensino médio e 32% se encontravam na faixa etária de 29 e 39 anos.

Tabela 1 evidencia que a maioria dos respondentes pertence à faixa etária entre 29 e 39 anos, com predominância do sexo feminino e renda familiar mensal de até um salários mínimos. Além disso, o nível de escolaridade mais frequente corresponde ao ensino médio completo. Esse panorama reflete o perfil socioeconômico do município de Jundiá, cuja população apresenta baixa renda média e dependência de atividades rurais (IBGE, 2022). Esses dados refletem o perfil de comunidades interioranas, onde o acesso à informação e à educação ambiental pode ser limitado (MARTINS et al., 2021).

No que se refere ao nível de conhecimento da população sobre o lixo eletrônico, observou-se que 56% dos entrevistados afirmaram já ter ouvido falar sobre o tema, enquanto 28% declararam não possuir nenhum conhecimento e apenas 16% relataram ter algum grau de entendimento. Notadamente, nenhum participante afirmou conhecer bem o assunto.

Os dados presentes no gráfico 01 revelam que, embora o termo “lixo eletrônico” esteja presente no cotidiano da maioria, o conhecimento ainda é superficial e insuficiente para promover práticas de descarte ambientalmente corretas. Resultados semelhantes foram encontrados por Pinto e Lima (2022), que destacam a diferença entre o reconhecimento do termo e a compreensão efetiva de seus impactos ambientais e sociais. Assim, a realidade de Jundiá reflete uma lacuna educacional que pode comprometer a efetividade da logística reversa, reforçando a necessidade de políticas públicas voltadas à educação ambiental, conforme também salientam Santos e Oliveira (2020).

Foi questionado também sobre a percepção dos entrevistados em relação aos riscos à saúde que o lixo eletrônico pode causar, 53% falaram que causa mas não souberam apontar um problema em específico, 3% relataram que não causa e 44% alegaram que não sabiam responder.

No Gráfico 02, observa-se que 53% dos participantes reconhecem que o descarte inadequado de resíduos eletroeletrônicos pode causar riscos à saúde humana, enquanto 44% afirmaram não saber e apenas 3% acreditam que não há relação entre os resíduos e potenciais problemas de saúde. Esse dado demonstra que, embora parte da população possua uma percepção inicial sobre os impactos negativos do lixo eletrônico, ainda existe um contingente expressivo de indivíduos que carecem de informações claras e objetivas sobre os riscos ambientais e toxicológicos associados a esses materiais. Substâncias presentes em componentes eletrônicos, como chumbo, mercúrio e cádmio, podem causar sérios danos neurológicos, respiratórios e reprodutivos quando liberadas de forma inadequada no meio ambiente, o que reforça a gravidade da situação. A Green Eletron (2023) já havia apontado que a lacuna entre o conhecimento superficial e a compreensão efetiva dos riscos é um dos principais entraves para a melhoria da gestão dos REEE no Brasil. Nesse sentido, os resultados de Jundiá refletem a necessidade de campanhas de educação ambiental mais abrangentes e acessíveis, capazes de traduzir o tema em linguagem simples e prática, de forma a sensibilizar a comunidade e estimular mudanças de comportamento no descarte cotidiano de eletrônicos.

Outra análise que se destaca é a de frequência de troca de equipamentos eletrônicos (Gráfico 03) onde 31% dos candidatos não trocaram nenhuma vez, 29% trocaram pelo menos uma vez, 17% duas vezes e 17% mais de duas vezes

No Gráfico 03, observa-se que 31% dos entrevistados relataram nunca ter trocado seus equipamentos eletrônicos, enquanto 29% afirmaram ter realizado a substituição apenas uma vez. Esses dados indicam que a população de Jundiá-RN tende a prolongar ao máximo a vida útil de seus dispositivos, o que pode estar diretamente associado às condições socioeconômicas locais, visto que a maioria dos respondentes possui renda de até um salário mínimo. A manutenção prolongada ou o acúmulo de equipamentos inativos em domicílio reflete uma estratégia de adaptação frente às limitações financeiras, mas também revela desconhecimento ou ausência de alternativas viáveis para o descarte ambientalmente adequado. Segundo Lima et al. (2022), em comunidades de baixa renda, é comum que aparelhos eletrônicos sejam retidos mesmo após o fim de sua utilidade, seja pela esperança de um eventual reaproveitamento, seja pela falta de informações sobre pontos de coleta e programas de reciclagem. Esse comportamento, embora represente uma forma de retardar a geração imediata de resíduos, contribui para o acúmulo de lixo eletrônico doméstico e evidencia lacunas tanto em políticas públicas quanto em ações educativas voltadas para o manejo correto dos REEE.

O gráfico 04 apresenta os resultados referentes ao destino dado pelos moradores de Jundiá-RN quando houve a necessidade de descartar algum equipamento eletrônico. O gráfico evidencia a predominância do descarte no lixo comum, além de revelar percentuais menores relacionados a práticas alternativas, como armazenamento em casa, venda ou doação, e, em casos isolados, o encaminhamento para empresas de reciclagem. Esses dados permitem compreender o padrão de comportamento da comunidade local diante da ausência de políticas públicas estruturadas de coleta e tratamento adequado de resíduos eletroeletrônicos.

A prática mais comum identificada entre os moradores de Jundiá-RN foi o descarte de resíduos eletrônicos no lixo comum, correspondendo a 52% dos entrevistados. Em seguida, 15% afirmaram manter os equipamentos armazenados em suas residências, 7% relataram ter optado pela venda ou doação e apenas 1% informou encaminhar tais materiais a empresas de reciclagem. Esse cenário evidencia não apenas a ausência de infraestrutura adequada para o manejo de resíduos eletroeletrônicos, mas também a carência de informações e incentivos que estimulem o descarte correto. Tal realidade se alinha ao que destacam Santos e Oliveira (2020), ao apontarem que a efetivação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) enfrenta maiores entraves em municípios de pequeno porte, devido à falta de suporte técnico, ausência de pontos de coleta estruturados e baixa adesão da população. Dessa forma, observa-se que a fragilidade da logística reversa em Jundiá não é um fenômeno isolado, mas sim reflexo de um desafio nacional, que requer políticas públicas mais direcionadas, parcerias institucionais e programas de educação ambiental voltados para a conscientização da população e a mudança de práticas cotidianas.

Conclusão

CONCLUSÃO

A pesquisa realizada em Jundiá-RN evidenciou que, embora parte da população demonstra compreender os riscos associados ao descarte inadequado de resíduos eletroeletrônicos (REEE), tal percepção não se traduz em práticas efetivas de gestão ambientalmente correta. O índice elevado de descarte no lixo comum e o armazenamento doméstico de equipamentos inativos confirmam a existência de um descompasso entre conhecimento e ação, resultado que se assemelha ao encontrado em outros municípios de pequeno porte no Brasil (MARTINS et al., 2021; LIMA; FERREIRA, 2022).

Esse cenário reflete, sobretudo, a ausência de alternativas acessíveis à população, como pontos de coleta estruturados, além da carência de campanhas permanentes de educação ambiental capazes de sensibilizar e orientar a comunidade sobre os riscos e soluções para o problema. Nesse contexto, o município de Jundiá representa uma realidade comum em cidades de menor porte, onde a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e da logística reversa ainda enfrenta entraves operacionais e institucionais (SANTOS; OLIVEIRA, 2020).

Diante disso, recomenda-se a implantação de pontos de coleta específicos para resíduos eletroeletrônicos, acompanhados de programas de conscientização e incentivo à participação comunitária. Ademais, parcerias entre o poder público, empresas privadas e instituições educacionais podem potencializar ações de logística reversa, garantindo maior eficiência no gerenciamento desses resíduos. Tais medidas são fundamentais não apenas para promover práticas de descarte responsáveis, mas também para assegurar a proteção ambiental e a saúde coletiva, contribuindo para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial os ODS 3, 4, 11 e 12.

Referências

CORRÊA, C. R.; XAVIER, A. M. Logística reversa de resíduos eletroeletrônicos: desafios para os municípios brasileiros. *Revista Interdisciplinar de Gestão Social*, v. 10, n. 3, p. 123–140, 2021.

GREEN ELETRON. Mais de 80% dos brasileiros guardam lixo eletrônico em casa, aponta pesquisa. 2023. Disponível em: <https://greeneletron.org.br>. Acesso em: 28 jul. 2025.

LIMA, A. F.; FERREIRA, J. A. Consumo e descarte de produtos eletrônicos em comunidades de baixa renda. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, n. 61, p. 45-60, 2022.

MARTINS, R. S. et al. Gestão de resíduos eletrônicos em pequenas cidades brasileiras: desafios e oportunidades. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, v. 26, n. 2, p. 88–105, 2021.

PEREIRA, J. A.; ALMEIDA, L. M. Impactos ambientais do descarte inadequado de resíduos eletrônicos. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 9, n. 4, p. 198-210, 2020.

PINTO, T. R. A.; LIMA, M. G. R. A percepção da população sobre o descarte de lixo eletrônico em comunidades urbanas. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, v. 27, n. 1, p. 72–89, 2022.

SANTOS, L. B.; OLIVEIRA, P. R. Logística reversa e resíduos eletroeletrônicos: entraves à efetivação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Revista Direito e Sustentabilidade*, v. 5, n. 1, p. 22–39, 2020.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

Anexos



TABELA SOCIO DEMOGRAFICA



GRÁFICO 01 - CONHECIMENTO SOBRE LIXO ELETRÔNICO



GRÁFICO 03 - FREQUÊNCIA DE TROCA DE EQUIPAMENTO ELETRÔNICO



GRÁFICO 04 - DESTINO DADO AO LIXO ELETRÔNICO



GRÁFICO 02 - SE O DESCARTE INADEQUADO CAUSA RISCO A SAÚDE
HUMANA

CÓDIGO: SB0009

AUTOR: MARIA FERNANDA DE OLIVEIRA GOMES

ORIENTADOR: BEATRIZ DE CASSIA MARTINS SALOMAO

TÍTULO: Microencapsulação bactérias lácticas destinadas à fabricação de Bebida láctea fermentada à base de soro

Resumo

O soro proveniente da produção de queijo é responsável por gerar grande impacto ambiental quando descartado sem um tratamento adequado. Por apresentar um grande valor nutritivo e potencial biotecnológico, pode ser utilizado na produção de bebidas lácteas. Algumas bactérias ácido lácticas (BAL) envolvidas na fabricação de derivados lácteos são classificadas como probióticas, desde que sejam resistentes ao processamento tecnológico e sejam encontradas livres no produto durante seu armazenamento. Diante disso, a microencapsulação das BAL surge como uma solução tecnológica capaz de manter esses microrganismos viáveis, na concentração desejável, aumentando a vida útil da bebida láctea fermentada. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da microencapsulação de bactérias lácticas probióticas aplicadas na fabricação de bebida láctea fermentada produzida à base de soro. Inicialmente foi realizado a microencapsulação da cultura em solução de alginato 2% e o preparo de amostras de bebida láctea. Posteriormente, tanto as microcápsulas quanto a bactérias livres foram adicionadas às amostras de bebida láctea e foram avaliadas após 1, 5 e 84 dias de fabricação, a fim de verificar a sua estabilidade e a viabilidade microbiológica durante o armazenamento refrigerado. Com isso, obteve-se uma bebida láctea fermentada com bactérias lácticas encapsuladas com viabilidade microbiológica constante acima do limite mínimo exigido pela legislação vigente, mesmo após 84 dias.

Palavras-chave: soro de queijo; bebida láctea; bactérias lácticas; microencapsulação.

TITLE: MICROENCAPSULATION OF LACTIC BACTERIA FOR THE MANUFACTURE OF WHEY-BASED FERMENTED MILK DRINK

Abstract

The whey from cheese production is responsible for generating great environmental impact when discarded without adequate treatment. As it has great nutritional value and

biotechnological potential, it can be used in the production of dairy drinks. Some lactic acid bacteria (LAB) involved in the manufacture of dairy products are classified as probiotics, as long as they are resistant to technological processing and are found free in the product during storage. Therefore, the microencapsulation of LAB appears as a technological solution capable of maintaining these microorganisms viable, at the desired concentration, increasing the shelf life of the fermented milk drink. This study aimed to evaluate the effect of microencapsulation of probiotic lactic acid bacteria applied in the manufacture of fermented dairy beverages produced from whey. Initially, the culture was microencapsulated in 2% alginate solution and milk beverage samples were prepared. Subsequently, both the microcapsules and free bacteria were added to the milk beverage samples and evaluated after 1, 5, and 84 days of manufacture to verify their stability and microbiological viability during refrigerated storage. This resulted in a fermented milk drink with encapsulated lactic acid bacteria with constant microbiological viability above the minimum limit required by current legislation, even after 84 days.

Keywords: cheese whey; dairy beverage; lactic acid bacteria; microencapsulation.

Introdução

O soro de leite, subproduto da coagulação do leite, é utilizado na produção de queijos, caseína alimentar e outros derivados (Mapa, 2020). Representa alto volume nos laticínios, sendo parcialmente destinado à alimentação animal. Em 2023, a produção mundial de queijo foi de 26 milhões de toneladas, gerando cerca de 22 milhões de toneladas de soro (USDA, 2024). Devido à sua composição e elevada DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), o descarte do soro é um dos maiores desafios ambientais da indústria de laticínios (Magalhães et al., 2011).

As bebidas lácteas são uma forma eficiente de aproveitar o soro do queijo, rico em nutrientes (Marques, 2012). A legislação define bebida láctea fermentada como a mistura de leite e soro, fermentada por microrganismos específicos, sem tratamento térmico após a fermentação (Brasil, 2024). São fontes de cálcio, proteínas e probióticos, sendo reconhecidas como saudáveis (Peres, 2021). A contagem mínima de bactérias ácido lácticas deve ser de 10^6 UFC/mL no produto final durante a validade (Brasil, 2024).

Algumas bactérias ácido lácticas são consideradas probióticas por equilibrar a microbiota intestinal e ajudar na prevenção de doenças, beneficiando a saúde do consumidor (Sanders, 2003).

Os microrganismos probióticos oferecem benefícios à saúde como: modulação da microbiota intestinal, prevenção de diarreia e constipação, alívio da intolerância à lactose, estímulo ao sistema imunológico, melhora de alergias, redução de lipídeos séricos e prevenção do câncer de cólon (Silva, 2016).

Os microrganismos do iogurte (cultura starter), *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus* não estão na lista dos microrganismos probióticos aprovados pela Agência de Vigilância Sanitária (Brasil, 2020), pois podem apresentar limitações para sobreviverem às condições do trato gastrointestinal em concentrações compatíveis para exercerem efeitos probióticos in vivo. Entretanto, existe uma grande discussão sobre seu caráter probiótico, pois estes melhoram a digestão de lactose e eliminam sintomas de intolerância a esse dissacarídeo.

Além disso, diversas evidências têm demonstrado que o consumo de quantidades adequadas, de cepas apropriadas de bactérias lácticas (incluindo bactérias lácticas não probióticas como *Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*), é capaz de aliviar os sintomas de intolerância à lactose (Vinderola, Reinheimer, 2003).

Os probióticos, pelos seus benefícios à saúde, são incorporados em alimentos como iogurtes, queijos, sorvetes, leites fermentados e sobremesas congeladas. Os microrganismos mais usados e aceitos pela legislação incluem *Lactobacillus* (*L. acidophilus*) e *Bifidobacterium* (*B. animalis* subsp. *lactis*) (Brasil, 2020)

A viabilidade das BAL em alimentos fermentados é afetada por armazenamento prolongado e temperatura, o que reduz sua concentração ao longo do tempo (Perez et al., 2007).

A pós-acidificação, causada pela atividade de culturas lácticas mesmo sob refrigeração, eleva a acidez e reduz o pH de produtos fermentados, comprometendo a textura, viscosidade e viabilidade microbiana, além de acentuar o sabor ácido (Viana et al., 2021). Para atender à legislação, é exigido mínimo de 10^6 UFC/mL de bactérias viáveis até o fim da validade (Brasil, 2024). A microencapsulação é uma alternativa tecnológica que protege microrganismos, controla sua liberação e preserva seus efeitos bioativos (Otaviano; Cerino, 2022).

Os microrganismos têm sido microencapsulados para reutilização na produção de metabólitos industriais, aumento da concentração celular em reatores, maior produtividade, proteção contra o suco gástrico e preservação da viabilidade durante a estocagem (Paulo; Assis; Santos, 2009).

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da microencapsulação de bactérias ácido lácticas probióticas (*Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*) aplicadas na fabricação de bebida láctea fermentada produzida à base de soro.

Metodologia

Inicialmente, foi obtida a cultura starter de iogurte, composta por *Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*, previamente preparada e congelada. Após o descongelamento, 2,0 mL da cultura foram misturados a 9 mL de solução de alginato de

sódio a 2%, com agitação até homogeneização completa. Essa mistura foi então adicionada gota a gota sobre uma solução de cloreto de cálcio a 0,1 M, utilizando técnica de extrusão por seringa. As microcápsulas formadas foram separadas com auxílio de papel filtro, sendo lavadas com água destilada.

A formulação da bebida láctea fermentada foi produzida na seguinte proporção: soro lácteo 40% (v/v) e leite pasteurizado 60% (v/v). O soro, proveniente da produção de queijo, foi submetido à termização a 65 °C por 1 minuto para inativação das enzimas do coalho, enquanto o leite foi pasteurizado em banho-maria a 85 °C por 15 minutos. Após a mistura do leite e soro, realizou-se novo tratamento térmico a 85 °C por 30 minutos, seguida de fracionamento da bebida em frascos estéreis de vidro de 250 mL. Em um frasco foram adicionadas as microcápsulas e, em outro, 2,0 mL de bactérias livres (não encapsuladas). Ambos foram levados para fermentar em estufa a 42 °C, até que o pH atingisse 4,0, resultando na bebida láctea fermentada.

Foram realizadas as seguintes análises: físico-químicas e microbiológicas nas amostras, a fim de verificar a estabilidade e viabilidade da bebida. A sobrevivência dos microrganismos encapsulados e livres, a acidez e o pH do produto foram monitorados com 1, 5, e mais de 80 dias de fabricação. Para as amostras preparadas com células microencapsuladas, primeiramente as cápsulas foram rompidas em processador previamente esterilizado com hipoclorito de sódio (NaClO) a 150 ppm por 15 minutos. A diluição 10⁻¹ foi realizada adicionando-se 25 gramas da amostra em 225 mL de água peptonada estéril 0,1%. A partir desta diluição, foram feitas as sucessivas diluições até 10⁻⁷. O plaqueamento foi realizado em duplicata pela técnica de semeadura em profundidade (pour-plate) utilizando meio PCA (Plate Count Agar). Posteriormente, as placas foram incubadas a 37 °C por 48 horas. A contagem foi expressa em UFC/mL.

Resultados e Discussões

Estabilidade da bebida láctea fermentada

Nos resultados apresentados na Tabela 1, observa-se a acidez e o pH da bebida ao longo do período de estocagem refrigerada.

Tabela 1: Acidez e pH das bebidas lácteas fermentadas com bactérias livres e com bactérias encapsuladas.

Amostra: Bebida láctea fermentada com bactérias livres (BLFL)

Tempo de armazenamento (dias): 1

Acidez (% de ácido láctico): 0,82

pH: 3,91

Tempo de armazenamento (dias): 5

Acidez (% de ácido láctico): 0,75

pH: 3,97

Tempo de armazenamento (dias): 84

Acidez (% de ácido láctico): 0,60

pH: 4,00

Amostra: Bebida láctea fermentada com bactérias encapsuladas (BLFE)

Tempo de armazenamento (dias): 1

Acidez (% de ácido láctico): 0,70

pH: 4,02

Tempo de armazenamento (dias): 5

Acidez (% de ácido láctico): 0,74

pH: 4,03

Tempo de armazenamento (dias): 84

Acidez (% de ácido láctico): 0,72

pH: 4,11

Observou-se que a bebida láctea fermentada com bactérias livres (BLFL) apresentou redução de acidez ao longo do armazenamento refrigerado, acompanhada de aumento no pH. Por outro lado, a bebida láctea formulada com bactérias encapsuladas (BLFE) manteve-se estável tanto em acidez quanto em pH, durante todo o período de armazenamento.

De acordo com Caldeira et al. (2010), a concentração de soro influencia na acidez da bebida. À medida que os níveis de soro aumentam, a acidez tende a diminuir. Essa redução também pode estar associada a diversos fatores, como: concentração de cultura láctea utilizada, à atividade desta cultura, ao valor estabelecido para finalizar a fermentação, à quantidade de soro de queijo utilizada na elaboração das bebidas lácteas, assim como ao tempo de armazenamento.

A amostra BLFE apresentou valores de pH ligeiramente superiores em comparação com a BLFL desde o início do armazenamento. Essa diferença indica uma possível proteção das bactérias frente ao ambiente ácido, favorecendo sua viabilidade prolongada.

A encapsulação parece atuar como uma barreira física que retarda a liberação de ácidos no meio, contribuindo para a estabilidade do pH ao longo do tempo. De forma oposta, a amostra BLFL (com bactérias livres) manteve valores de pH mais baixos, o que pode estar associado à maior exposição dos microrganismos ao meio e, conseqüentemente, à produção mais intensa de ácidos orgânicos.

Segundo Thamer e Penna (2006), o pH é um fator determinante para a viabilidade das bactérias lácticas: sua redução está correlacionada com a queda nas contagens de células viáveis durante o armazenamento refrigerado de iogurtes. Nesse contexto, o baixo pH observado na BLFL pode indicar uma menor viabilidade microbiana, evidenciando o potencial benéfico do encapsulamento na manutenção das características funcionais do produto fermentado.

Viabilidade microbiológica durante estocagem refrigerada

A viabilidade microbiológica das bebidas lácteas fermentadas com bactérias livres e com bactérias encapsuladas, nos tempos de armazenamento 1, 5 e 84 dias, pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados para a viabilidade de bactérias lácticas em cada amostra.

Amostra BLFL

Contagens (UFC/mL)

1 dia: $2,74 \times 10^4$

5 dias: $3,40 \times 10^4$

84 dias: $1,23 \times 10^3$

Amostras BLFE

Contagens (UFC/mL)

$1,15 \times 10^7$

$3,25 \times 10^7$

$2,00 \times 10^7$

De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de bebida láctea fermentada, a viabilidade mínima de bactérias até o prazo final de validade deve ser da ordem de 10^6 UFC/mL.

Com base nos resultados obtidos, observou-se que a amostra BLFE apresentou uma quantidade de bactérias acima do valor especificado pela legislação, enquanto a amostra BLFL apresentou valores inferiores ao exigido.

Apesar de ambas as amostras terem sido armazenadas por mais de 80 dias, verificou-se um comportamento semelhante ao longo das análises. A bebida com bactérias encapsuladas manteve uma viabilidade satisfatória por um longo período armazenamento. Por outro lado, a bebida com bactérias livres mostrou redução da viabilidade quando submetida a períodos prolongados de armazenamento. Kurtz (2019) observou resultados semelhantes ao aplicar culturas probióticas encapsuladas em bebidas lácteas, as quais foram armazenadas sob refrigeração por 30 dias. Ao final do período, foram obtidas contagens bacterianas superiores a 10^7 UFC/mL, demonstrando elevada viabilidade microbiana.

Conclusão

A microencapsulação de bactérias lácticas tem se mostrado uma técnica promissora que permite garantir sua viabilidade no trato gastrointestinal.

As amostras com bactérias encapsuladas (BLFE) apresentaram valores de pH mais elevados e estáveis ao longo dos 84 dias, em comparação com as amostras com bactérias livres (BLFL), evidenciando menor acidificação do meio e maior capacidade de sobrevivência dos microrganismos.

Além disso, a viabilidade microbiológica da BLFE manteve-se constante acima do limite mínimo exigido pela legislação vigente, mesmo após 84 dias. Ao contrário da BLFL, cuja contagem caiu para níveis inferiores ao recomendado.

Dessa forma, os resultados desta pesquisa demonstram que esta técnica permite a obtenção de bebidas lácteas fermentadas com concentração de bactérias lácticas adequada até o final do prazo de validade, em conformidade com os requisitos mínimos exigidos pela legislação vigente. Adicionalmente, essa abordagem constitui uma estratégia eficaz para preservar a viabilidade dos microrganismos ao longo do armazenamento refrigerado, permitindo sua liberação em taxas controladas ou sob condições específicas do meio.

Assim, conclui-se que o uso de culturas probióticas encapsuladas em formulações lácteas fermentadas pode prolongar a vida útil e o potencial funcional desses produtos, representando uma alternativa promissora para a indústria de alimentos.

Referências

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa nº 76, de 5 de novembro de 2020. Dispõe sobre a atualização das listas de constituintes, de limites de uso, de alegações e de rotulagem complementar dos suplementos alimentares. Diário Oficial da União. Poder Executivo. Brasília, DR. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Portaria SDA/MAPA nº 1.174, de 3 de setembro de 2024. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Bebida láctea. Diário Oficial da República Federativa do Brasil: Brasília/DF, 2024.

CALDEIRA, L. A.; FERRÃO, S. P. B.; FERNANDES, S. A. A.; MAGNAVITA, A. P. A.; SANTOS, T. D. R. Desenvolvimento de bebida láctea sabor morango utilizando diferentes níveis de iogurte e soro lácteo obtidos com leite de búfala. *Ciência Rural*, v. 40, p. 2193-2198, 2010.

KURTZ, J. N. P. Avaliação in vitro do potencial probiótico de *Enterococcus faecium* isolados de leite bubalino. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente.) – Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/201579>. Acesso em: 20 jul. 2025.

Magalhães, K. T.; Dragone, G.; de Melo Pereira, G. V.; Oliveira, J. M.; Domingues, L.; Teixeira, J. A.; SILVA, J. B. A.; Schwan, R. F. Comparative study of the biochemical changes and volatile compound formations during the production of novel whey-based kefir beverages and traditional milk kefir. *Food Chemistry*, v. 126, n. 1, p. 249-253, 2011.

MARQUES, A. P. Desenvolvimento de bebida láctea fermentada à base de soro lácteo e café solúvel com atividade probiótica. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos – Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/341>. Acesso em: 25 jul. 2024.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa nº 94, de 18 de setembro de 2020. Aprova o regulamento técnico que fixa os Padrões de Identidade e qualidade para o soro de leite e o soro de leite Ácido. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-94-de-18-de-setembro-de-2020-278692811>. Acesso em: 05 ago. 2024.

OTAVIANO, L. G.; CERINO, A. P. Estudo da Aplicação de Microrganismos Probióticos Micro encapsulados em Alimentos. *Environmental Science & Technology Innovation*, Bauru, v. 1, n. 2, p. 132-150, 2022.

PAULO, E. M.; ASSIS, S. A.; SANTOS, V. L. C. S. Polímeros contendo carboidratos para serem utilizados no processo de microencapsulação de bactérias: uma revisão. *SITIENTIBUS série Ciências Biológicas*, v. 9, n. 4, p. 185–191, 2009.

PERES, M. P. S. Desenvolvimento e viabilidade de bactérias ácido lácticas na bebida láctea fermentada em diferentes tempos. 2019. 20f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Medicina Veterinária) – Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos, Uniceplac, Gama, DF. 2021. Disponível em: <https://dspace.uniceplac.edu.br/handle/123456789/653>. Acesso em: 05 ago. 2024.

PEREZ, K. J.; GUARIENTI, C.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V.; COLLA, L. M. Viabilidade de bactérias lácticas em iogurte adicionado de biomassa da microalga *Spirulina platensis* durante o armazenamento refrigerado. *Alim. Nutr.*, Araraquara, v.18, n.1, p.77-82, jan./mar. 2007.

SANDERS, M. E. Overview of functional foods: emphasis on probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, Amsterdam, v.8, p.341-347, 1998.

SILVA, N. F. Caracterização in vitro de propriedades probióticas de bactérias ácido lácticas (BAL). 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Nutrição) – Centro Acadêmico de Vitória, Universidade Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, PE. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/30147>. Acesso em: 25 jul. 2024.

THAMER, K. G.; PENNA, A. L. B. Caracterização de bebidas lácteas funcionais fermentadas por probióticos e acrescidas de prebiótico. *Food Science and Technology*, v. 26, p. 589-595, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/4xqGgtSw93vvN5FGTGvRsss/>. Acesso em: 20 jul. 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA) - Foreign Agricultural Service. Production cheese. 2024. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0240000>. Acesso em: 25 jul. 2024.

VIANA, C. C. R.; RENHE, I. R. T.; BESSA, M. E.; MARTINS, E.; STEPHANI, R.; CARVALHO, A. F.; PERRONE, Í. T. Microencapsulamento de bactérias probióticas: uma breve revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 13, p.e242101320814-e242101320814, 2021.

VINDEROLA, C. G.; REINHEIMER, J. A. Meios de cultura para enumeração de *Bifidobacterium bifidum* e *Lactobacillus acidophilus* na presença de bactérias de iogurte. *International dairy journal*, v. 9, n. 8, p. 497-505, 1999.

Anexos



Tabelas 1 e 2



Tabelas 1 e 2

CÓDIGO: SB0284

AUTOR: MARIA EDUARDA DE SOUZA DA CRUZ

COAUTOR: ALLINY SAMARA LOPES DE LIMA

ORIENTADOR: MARCIA REGINA DA SILVA PEDRINI

TÍTULO: ELABORAÇÃO DE BEBIDAS FERMENTADAS DO TIPO KOMBUCHA
ADICIONADAS DE FRUTAS TROPICAIS: ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS,
MICROBIOLÓGICOS E POTENCIAL ANTIOXIDANTE

Resumo

A kombucha é uma bebida fermentada obtida a partir da ação de um consórcio simbiótico de bactérias e leveduras (SCOBY). Este trabalho teve como objetivo avaliar as características físico-químicas, microbiológicas e o potencial antioxidante de kombuchas elaboradas com polpas de frutas tropicais (acerola, caju e maracujá) durante 90 dias de armazenamento refrigerado. As bebidas foram produzidas por fermentação de chá verde adoçado (0,6% m/v de folhas; 6,5% m/v de açúcar) por 12 dias, seguido da adição de 15% (m/v) de polpa de fruta. Foram realizadas análises de pH, acidez titulável, contagem de bactérias mesófilas, teor de compostos fenólicos totais (CFT) e atividade antioxidante (DPPH). Todas as formulações mantiveram pH dentro do limite legal (2,5–4,2). A kombucha de caju apresentou aumento progressivo de acidez e de microrganismos, enquanto a de acerola mostrou efeito tamponante e redução microbiana ao longo do tempo. Os CFT permaneceram estáveis em quase todas as amostras, exceto na kombucha de acerola, que apresentou redução até 60 dias, sem impacto significativo na atividade antioxidante. Os resultados indicam que a adição de frutas tropicais pode enriquecer o perfil funcional da kombucha e garantir estabilidade durante o armazenamento, sendo uma alternativa inovadora para o desenvolvimento de bebidas fermentadas com apelo funcional.

Palavras-chave: kombucha.frutas tropicais.antioxidantes. vida de prateleira.

TITLE: DEVELOPMENT OF KOMBUCHA-TYPE FERMENTED BEVERAGES
WITH TROPICAL FRUITS: PHYSICOCHEMICAL, MICROBIOLOGICAL, AND
ANTIOXIDANT POTENTIAL

Abstract

Kombucha is a fermented beverage produced by the metabolic activity of a symbiotic culture of bacteria and yeasts (SCOBY). This study aimed to evaluate the physicochemical, microbiological, and antioxidant characteristics of kombucha beverages flavored with tropical fruit pulps (acerola, cashew, and passion fruit) during 90 days of refrigerated storage. The formulations were produced using a sweetened green tea infusion (0.6% w/v leaves; 6.5% w/v sugar) fermented for 12 days, followed by the addition of 15% (w/v) fruit pulp. Analyses included pH, titratable acidity, mesophilic aerobic bacteria counts, total phenolic content (TPC), and antioxidant activity (DPPH assay). All samples remained within the Brazilian legal pH limits (2.5–4.2). Cashew kombucha showed progressive increases in acidity and microbial growth, while acerola kombucha exhibited buffering effects and microbial reduction over time. TPC remained stable in most samples, except for acerola kombucha, which decreased until day 60, without significant impact on antioxidant activity. These findings demonstrate that tropical fruit pulps can enrich the functional profile of kombucha and maintain stability during storage, representing an innovative alternative for developing functional fermented beverages.

Keywords: kombucha. tropical fruits. antioxidants. shelf life.

Introdução

A Kombucha é uma bebida fermentada com perfil sensorial ácido, levemente doce e gaseificado, obtida através da fermentação de chás adoçados, tradicionalmente verde e/ou preto (*Camellia sinensis*), por cultura simbiótica de microrganismos (Sanwall et al., 2023). O consórcio simbiótico responsável pela fermentação da bebida inclui bactérias ácido acéticas, bactérias ácido lácticas e leveduras (Fabrício et al., 2022). Dentre os principais gêneros relatados no microbioma da Kombucha, destacam-se bactérias do gênero *Acetobacter*, *Komagataeibacter* e *Gluconacetobacter*, e as leveduras *Zygosaccharomyces*, *Candida*, *Brettanomyces* e *Hanseniaspora* (Arikan et al., 2020; Chakravorty et al., 2016; Coton et al., 2017; Villarreal-Soto et al., 2020).

O perfil químico da kombucha inclui vitaminas, minerais, ácidos orgânicos, além de compostos fenólicos oriundos do chá, como catequinas e derivados (De Noronha et al., 2022; Oliveira et al., 2023). O ácido acético é um dos principais ácidos orgânicos produzidos na fermentação da kombucha. Outros ácidos relatados incluem ácido láctico, butírico, glucônico, succínico, dentre outros (Jayabalan; Marimuthu; Swaminathan, 2007). O dióxido de carbono e etanol também são metabólitos da fermentação da bebida (Fabrício et al., 2022). Devido a sua composição química, a kombucha vem sendo largamente associada a propriedades funcionais, dentre elas capacidade antioxidante, anti-inflamatória e atividade antimicrobiana (Morales, 2020; Sanwal et al., 2023; Silva et al., 2021).

A bebida pode ser comercializada na forma tradicional, constituída apenas do chá fermentado, ou aromatizada. O processo de aromatização consiste na adição de agentes

aromatizantes, como infusões e extratos vegetais, ao chá previamente fermentado (Freitas; Sousa; Wurlitzer, 2022). Embora a base da kombucha consista, tradicionalmente, no chá fermentado das folhas de *Camellia sinensis*, a aromatização da bebida pode empregar uma grande variedade de matérias-primas vegetais (Ariff et al., 2023). Dentre os agentes aromatizantes, a elaboração de kombuchas adicionadas de frutos vem sendo relatada na literatura, incluindo-se polpa pitanga e umbu-cajá (Da Silva Junior et al., 2021), suco de uva (Ayed; Ben Abid; Hamdi, 2017), suco de cacto perá (Ayed e Hamdi, 2015), dentre outros.

Frutas tropicais são abundantes no Nordeste brasileiro e apresentam papel importante na economia brasileira. Esses vegetais destacam-se pelas suas características sensoriais e qualidade nutricional, sendo fonte de fibras, minerais e vitaminas (Moraes et al., 2017). As frutas também são fontes de compostos fenólicos (Bataglioni et al., 2015; Da Silva et al., 2014), classe de fitoquímicos com propriedades antioxidantes associadas à prevenção de doenças degenerativas (Haminiuk et al., 2012; Zhou et al., 2021). Espécimes de frutos como acerola (*Malpighia emarginata*), caju (*Anacardium occidentale*), maracujá (*Passiflora edulis*) são alguns dos frutos nativos da biodiversidade brasileira. Embora essas frutas apresentem elevado potencial nutricional, sensorial e tecnológico, sua aplicação em bebidas fermentadas do tipo kombucha ainda é pouco relatada.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os aspectos físico-químicos, microbiológicos e potencial antioxidante de bebidas fermentadas do tipo kombucha adicionadas de polpas de frutas tropicais. Serão determinados o pH, acidez total, contagem total de microrganismos, bem como teor de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante, nos tempos de armazenamento 0, 15, 30, 45, 60 e 90 das bebidas.

Metodologia

OBTENÇÃO DAS POLPAS DE FRUTAS

Os frutos maracujá, caju e acerola foram obtidos em mercado local (Natal, RN). As frutas foram selecionadas levando em consideração o estágio de maturação e integridade, e higienizadas utilizando-se uma solução de hipoclorito de sódio (100ppm) durante 10 minutos, seguido de lavagem e secagem. O despulpamento foi feito em despulpadeira (Britânia Juicer 700), com armazenamento das polpas em sacos plásticos estéreis de polietileno. As polpas foram mantidas em freezer ($-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) até a utilização.

ELABORAÇÃO E AROMATIZAÇÃO DA KOMBUCHA

A cultura starter da kombucha, composta pelo líquido fermentado e pela película celulósica (SCOBY), foi fornecida por uma empresa local (Natal, RN, Brasil) e mantida sob refrigeração (4°C) até o momento do uso. Preparou-se uma infusão de chá verde adicionando 0,6% (m/v) de folhas secas de *Camellia sinensis* em água aquecida a 85°C

por 15 minutos, seguida de filtração e adição de 6,5% (m/v) de açúcar cristal. Após resfriamento até temperatura ambiente, inoculou-se 10% (v/v) de líquido previamente fermentado. A fermentação foi conduzida em potes de vidro esterilizados, cobertos com papel toalha, à temperatura ambiente ($28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$), por um período de 12 dias. Após a fermentação, a bebida foi filtrada e adicionadas polpas de fruta na proporção de 15% (m/v), originando as seguintes formulações: KC (kombucha de caju), KM (kombucha de maracujá), KA (kombucha de acerola) e C (kombucha controle, sem adição de polpa). As bebidas foram acondicionadas em garrafas estéreis de politereftalato de etileno (100 mL) e armazenadas sob refrigeração ($4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$). Para avaliação da vida de prateleira, amostras foram coletadas em triplicata nos tempos 0, 15, 30, 45, 60 e 90 dias para realização das análises subsequentes.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Os valores de pH das amostras foram medidos utilizando pHmetro de acordo com metodologia da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2019). A acidez total obteve-se por titulação das amostras diluídas com solução padronizada de NaOH 0,01N e indicador fenolftaleína, seguindo procedimento analítico do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Os resultados foram expressos em gramas de ácido acético por litro de amostra.

DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS (CFT)

O conteúdo fenólico total foi determinado empregando o reagente Folin-Ciocalteu (1,0 N) (Fujita et al., 2013). A reação ocorreu a partir da mistura de 20 μL das amostras previamente filtradas (0,20 μm , Sartorius Stedim) com 100 μL do reagente Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA). Após descanso de 2 min, 1 mL de solução de carbonato de sódio a 15% (p/v) (Merck, Darmstadt, Alemanha) foi adicionada à mistura. A mistura foi mantida no escuro, em temperatura ambiente, durante 30 minutos. A absorbância foi medida em 765 nm em um leitor de microplacas (Thermoplate Reader, Bio-Rad Laboratories, Hercules, EUA). Construiu-se uma curva de calibração com ácido gálico como padrão (concentrações variando de 10,0 $\mu\text{g/mL}$ a 200,0 $\mu\text{g/mL}$). Os resultados foram expressos como equivalente de ácido gálico (GAE) por litro de amostra (mg EAG/L).

DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A atividade antioxidante foi determinada a partir da captura dos radicais DPPH. As amostras foram filtradas em papel filtro (0,20 μm , Sartorius Stedim) antes das análises. Uma curva foi montada utilizando trolox como padrão, utilizando no mínimo 6 pontos equidistantes, em triplicata. Os resultados foram expressos como equivalentes de Trolox (TE) por 100 mL de amostra ($\mu\text{mol/L}$). A capacidade antioxidante foi determinada pelo método de Brand-Williams et al. (1995), com algumas modificações. A reação foi obtida a partir da mistura de 40 μL de amostra diluída e 200 μL de solução metanólica DPPH 0,06 mM, com tempo de reação de 20 minutos, a temperatura ambiente. A absorbância foi medida com comprimento de onda de 517 nm.

ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

As contagens de células viáveis foram determinadas pelo método de Unidades Formadoras de Colônias (UFC), utilizando a técnica de plaqueamento em superfície. Para a diluição das amostras, utilizou-se água peptonada a 0,1% (p/v) como diluente, em alíquotas de 9 mL. Realizaram-se diluições seriadas e, em seguida, semeadura de 0,1 mL de cada diluição com alça de Drigalski em placas de Petri contendo meio de cultura sólido. A contagem total de bactérias aeróbias mesófilas foi realizada em Ágar para Contagem em Placas (PCA – Plate Count Agar, Oxoid, Basingstoke, Reino Unido), com incubação a 30 °C por 72 horas. Os resultados foram expressos em UFC por mL (UFC/mL).

Resultados e Discussões

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Os valores de pH da kombucha são importantes para garantir a segurança microbiológica e indicar características sensoriais da bebida. O processo de fermentação, conduzido principalmente por bactérias do ácido acético e leveduras, leva a uma diminuição do pH, que é essencial para inibir microrganismos patogênicos e melhorar os perfis de sabor (Wang et al., 2022). De acordo com a instrução Normativa N° 41/2019 do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) o pH da kombucha deve estar entre 2,5 e 4,2 (BRASIL, 2019). Conforme apresentado na Figura 1, todas as amostras apresentaram pouca variação do pH, na amostra de caju, a variação foi de $3,03 \pm 0,04$ a $3,09 \pm 0,01$, para a de acerola foi de $2,93 \pm 0,02$ a $2,89 \pm 0,02$, de maracujá variou de $2,8 \pm 0,02$ a $2,93 \pm 0,03$ e o controle de $2,8 \pm 0,03$ a $2,74 \pm 0,01$, nos dias 0 e 90 respectivamente. Todas as amostras encontram-se dentro dos limites de pH estabelecidos pela legislação brasileira, indicando estabilidade do valor de pH durante o armazenamento.

Dentre os ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação da kombucha, destacam-se o ácido acético, que é produzido em maior quantidade, além de ácidos glucônico, lático e butírico (Chong et al., 2024). De acordo com a Figura 2, a acidez da amostra de caju teve um aumento progressivo indicando que os açúcares do caju podem ter ajudado a continuar fermentando. Para a amostra de maracujá houve um declínio bruto no dia 30 e depois aumentou para um valor próximo ao inicial. Já a amostra de acerola observou-se um decréscimo gradativo indicando que os compostos da acerola tiveram um possível efeito tamponante, enquanto à amostra controle apresentou estabilidade com pouco efeito fermentativo. Assim, foi evidenciado que durante o armazenamento, a polpa de caju foi o substrato mais fermentado dentre as polpas utilizadas.

CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA

A kombucha inibe o crescimento de microrganismos patogênicos devido a produção de ácidos orgânicos e redução de pH para valores inferiores a 4,1 (Hou et al., 2021). Dentre a composição microbiológica da kombucha, incluem-se bactérias ácido acéticas, leveduras, e ocasionalmente bactérias ácido lácticas (Tran et al., 2020). Como mostra a Figura 3, as contagens totais de bactérias mesófilas aeróbias das amostras maracujá e do controle apresentaram um aumento até dia 15. Após o dia 30 elas apresentaram uma estabilidade até o dia 90. Diferentemente, a kombucha de caju apresentou crescente aumento da concentração microbiana ao longo da fermentação, o que também se alinha ao aumento progressivo de ácido acético obtido para essa amostra. A amostra de acerola teve um decréscimo considerável indicando uma possível interferência dos seus compostos na inibição da atividade microbiana ao longo do armazenamento.

CARACTERIZAÇÃO FITOQUÍMICA

Os compostos fenólicos presentes na kombucha têm origem principalmente na infusão das folhas de *Camellia sinensis*, destacando-se as catequinas e os ácidos orgânicos, além de serem produzidos ou modificados ao longo da fermentação (Lacerda et al., 2024). Durante esse processo, é relatada a ocorrência de biotransformações que podem resultar no aumento das atividades biológicas associadas à bebida (Kim et al., 2023). Na Figura 4, observa-se que as kombuchas de maracujá, caju e a amostra controle apresentaram apenas pequenas variações no teor de compostos fenólicos totais (CFT), sem diferenças significativas entre o tempo inicial (dia 0) e o final do armazenamento (dia 90). Esses resultados indicam boa estabilidade dessa classe de compostos nessas formulações ao longo do período estudado. Em contraste, a kombucha de acerola apresentou queda significativa dos CFT até o dia 60, mantendo-se estável entre os dias 60 e 90, o que sugere menor estabilidade nessa matriz. Também se verificou que a adição da polpa de acerola elevou de forma expressiva os CFT da bebida, comportamento igualmente observado na kombucha de caju, enquanto a polpa de maracujá promoveu apenas um aumento mais discreto.

A biotransformação dos compostos fenólicos na kombucha pode ainda contribuir para o potencial antioxidante da bebida, sendo frequente o aumento dessa atividade após a fermentação (Shi et al., 2023). Conforme mostrado na Figura 5, a kombucha com maracujá apresentou a menor atividade antioxidante, em consonância com sua menor concentração de CFT. Além disso, verificou-se maior variação da atividade antioxidante nas kombuchas de maracujá e na amostra controle, enquanto nas bebidas de acerola e caju essa variação foi mais limitada. Um ponto relevante é que, embora tenha ocorrido uma queda expressiva nos CFT da kombucha de acerola, esse efeito não se refletiu na atividade antioxidante, sugerindo que a redução pode estar associada a compostos de menor relevância antioxidante.

Conclusão

Os resultados obtidos demonstram que a adição de polpas de frutas tropicais à kombucha é uma estratégia viável para diversificar o perfil sensorial e nutricional da bebida. Todas as formulações mantiveram valores de pH adequados e estáveis durante os 90 dias de armazenamento, atendendo aos padrões de segurança microbiológica estabelecidos. A kombucha de caju apresentou maior atividade fermentativa, evidenciada pelo aumento progressivo da acidez e da contagem microbiana, enquanto a de acerola exibiu efeito tamponante e redução das populações microbianas ao longo do tempo. Em relação aos compostos bioativos, a adição das polpas, especialmente de acerola e caju, elevou o teor de fenólicos e a capacidade antioxidante, ressaltando o potencial funcional das formulações. Esses resultados indicam que a incorporação de frutas tropicais à kombucha pode agregar valor ao produto, oferecendo uma alternativa sustentável e inovadora para a indústria de bebidas fermentadas, com potencial de atender às demandas de consumidores por alimentos com propriedades funcionais.

Referências

AOAC – Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 21. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2019.

ARIFF, Rafidah Mohd et al. Recent trends in kombucha: Conventional and alternative fermentation in development of novel beverage. Food Bioscience, p. 102714, 2023.

ARIKAN, Muzaffer et al. Microbial composition of kombucha determined using amplicon sequencing and shotgun metagenomics. Journal of Food Science, v. 85, n. 2, p. 455-464, 2020.

AYED, Lamia; BEN ABID, Salwa; HAMDI, Moktar. Development of a beverage from red grape juice fermented with the kombucha consortium. Annals of Microbiology, v. 67, p. 111-121, 2017.

AYED, Lamia; HAMDI, Moktar. Manufacture of a beverage from cactus pear juice using “tea fungus” fermentation. Annals of Microbiology, v. 65, p. 2293-2299, 2015.

BATAGLION, Giovana A. et al. Determination of the phenolic composition from Brazilian tropical fruits by UHPLC–MS/MS. *Food Chemistry*, v. 180, p. 280-287, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.º 41, de 17 de setembro de 2019. Estabelece o Padrão de Identidade e Qualidade da Kombucha. *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 set. 2019.

CHAKRAVORTY, Somnath et al. Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics. *International Journal of Food Microbiology*, v. 220, p. 63-72, 2016.

CHONG, Ann Qi et al. Modelling pH dynamics, SCOBY biomass formation, and acetic acid production of kombucha fermentation using black, green, and oolong teas. *Processes*, v. 12, n. 7, p. 1301, 2024.

COTON, Monika et al. Unraveling microbial ecology of industrial-scale kombucha fermentations by metabarcoding and culture-based methods. *FEMS Microbiology Ecology*, v. 93, n. 5, p. fix048, 2017.

DA SILVA, Larissa Moraes Ribeiro et al. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, v. 143, p. 398-404, 2014.

DE NORONHA, Marcel Cardoso et al. Black tea kombucha: Physicochemical, microbiological and comprehensive phenolic profile changes during fermentation, and antimalarial activity. *Food Chemistry*, v. 384, p. 132515, 2022.

FABRICIO, Mariana Fensterseifer et al. Effect of freeze-dried kombucha culture on microbial composition and assessment of metabolic dynamics during fermentation. *Food Microbiology*, v. 101, p. 103889, 2022.

FREITAS, Ana; SOUSA, Paulo; WURLITZER, Nédio. Alternative raw materials in kombucha production. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, v. 30, p. 100594, 2022.

FUJITA, Alice et al. Impact of spouted bed drying on bioactive compounds, antimicrobial and antioxidant activities of commercial frozen pulp of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh). *Food Research International*, v. 54, n. 1, p. 495-500, 2013.

HAMINIUK, Charles W. I. et al. Phenolic compounds in fruits – an overview. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 47, n. 10, p. 2023-2044, 2012.

HOU, Jie et al. Antimicrobial potential of kombucha against foodborne pathogens: a review. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, v. 13, n. 3, p. 53-61, 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

JAYABALAN, R.; MARIMUTHU, S.; SWAMINATHAN, K. Changes in content of organic acids and tea polyphenols during kombucha tea fermentation. *Food Chemistry*, v. 102, n. 1, p. 392-398, 2007.

KIM, Hayeong et al. Enhancement of the phenolic compounds and antioxidant activities of kombucha prepared using specific bacterial and yeast. *Food Bioscience*, v. 56, p. 103431, 2023.

LACERDA, Udielle Vermelho et al. Antioxidant, antiproliferative, antibacterial, and antimalarial effects of phenolic-rich green tea kombucha. *Beverages*, v. 11, n. 1, p. 7, 2024.

MORAES, Damila R. et al. Proximate composition, mineral contents and fatty acid composition of the different parts and dried peels of tropical fruits cultivated in Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 28, p. 308-318, 2017.

MORALES, Diego. Biological activities of kombucha beverages: The need of clinical evidence. *Trends in Food Science & Technology*, v. 105, p. 323-333, 2020.

OLIVEIRA, Jordan Teixeira et al. Green tea and kombucha characterization: Phenolic composition, antioxidant capacity and enzymatic inhibition potential. Food Chemistry, v. 408, p. 135206, 2023.

SANWAL, Nikita et al. Kombucha fermentation: Recent trends in process dynamics, functional bioactivities, toxicity management, and potential applications. Food Chemistry Advances, v. 3, p. 100421, 2023.

SHI, Shengyang et al. Microbial metabolic transformation and antioxidant activity evaluation of polyphenols in kombucha. Food Bioscience, v. 51, p. 102287, 2023.

SILVA, Kelly Alencar et al. Kombucha beverage from non-conventional edible plant infusion and green tea: Characterization, toxicity, antioxidant activities and antimicrobial properties. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v. 34, p. 102032, 2021.

TRAN, Thierry et al. Microbial dynamics between yeasts and acetic acid bacteria in kombucha: Impacts on the chemical composition of the beverage. Foods, v. 9, n. 7, p. 963, 2020.

VILLARREAL-SOTO, Silvia Alejandra et al. Understanding kombucha tea fermentation: a review. Journal of Food Science, v. 83, n. 3, p. 580-588, 2018.

WANG, Boying et al. Kombucha: Production and microbiological research. Foods, v. 11, n. 21, p. 3456, 2022.

ZHOU, Dan-Dan et al. Antioxidant food components for the prevention and treatment of cardiovascular diseases: effects, mechanisms, and clinical studies. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, v. 2021, n. 1, p. 6627355, 2021.

Anexos



Figura 1 – Variação do pH das kombuchas saborizadas durante 90 dias de armazenamento.



Figura 2 – Variação da acidez (g/L de ácido acético) nas kombuchas saborizadas durante os 90 dias de armazenamento.



Figura 3 – Variação da contagem total de microrganismos (log UFC/mL) em kombuchas saborizadas durante 90 dias de armazenamento



Figura 4 – Variação dos Compostos Fenólicos Totais (CFT) em kombuchas saborizadas durante 90 dias de armazenamento.



Figura 5 – Variação da atividade antioxidante contra o radical DPPH em kombuchas saborizadas durante 90 dias de armazenamento.

CÓDIGO: SB0675

AUTOR: ALLYSSON MASTRÂNGELO TEIXEIRA ARAUJO DE FREITAS

ORIENTADOR: MARCIA REGINA DA SILVA PEDRINI

TÍTULO: Desenvolvimento e Teste de Usabilidade de um Software de Análise de Proteína Desenvolvido para Smartphones

Resumo

O leite bovino é uma importante fonte de proteína para a alimentação humana, sendo o teor proteico um parâmetro essencial para a qualidade e processamento de derivados lácteos. Contudo, métodos tradicionais de análise exigem equipamentos laboratoriais caros e infraestrutura nem sempre disponível em áreas rurais. Este projeto propõe o desenvolvimento de um software para smartphones capaz de realizar a análise quantitativa de proteínas em leite cru a partir do teste colorimétrico de biureto. A metodologia envolve a captura de imagens digitais em condições controladas, seguida de processamento e interpretação dos dados para estimar a concentração proteica. O sistema contará com protótipo de acoplamento para padronizar a captura, testes comparativos com métodos clássicos (espectrofotometria e espectroscopia FTIR) e avaliação de usabilidade com usuários finais. O aplicativo será disponibilizado para dispositivos Android na Play Store, permitindo validação em escala real. Além de democratizar o acesso a análises rápidas e de baixo custo, o projeto contribui para a modernização da agroindústria e para a difusão de tecnologias digitais no campo.

Palavras-chave: Leite; Proteína; Biureto; Smartphone; Análise colorimétrica; Usabilidade

TITLE: Development and Usability Testing of a Protein Analysis Software Designed for Smartphones

Abstract

Cow's milk is an important source of protein for human nutrition, and protein content is a key parameter for assessing quality and processing in dairy products. However, traditional analytical methods require expensive laboratory equipment and infrastructure that are often unavailable in rural areas. This project proposes the development of a smartphone-based software capable of performing quantitative protein analysis in raw milk using the biuret colorimetric test. The methodology includes image capture under controlled conditions, digital processing, and data interpretation to estimate protein concentration. The system will include a smartphone attachment prototype to ensure

standardized capture, comparative tests against classical methods (spectrophotometry and FTIR), and usability evaluations with end users. The application will be made available for Android devices through the Play Store, enabling real-scale validation. Beyond providing fast and low-cost analyses, the project contributes to the modernization of the dairy sector and promotes the adoption of digital technologies in agriculture.

Keywords: Milk; Protein; Biuret; Smartphone; Colorimetric analysis; Usability

Introdução

O leite de vaca é uma fonte natural essencial de proteína para a alimentação humana. Na produção de derivados lácteos, conhecer os parâmetros de qualidade como o teor de proteína é fundamental para a tomada de decisões no processamento dos produtos. Monitorar a composição do leite, entretanto, pode envolver investimentos consideráveis em laboratórios, equipamentos e envio de amostras para análises, recursos muitas vezes incompatíveis com o uso rural devido às condições ambientais. O uso de smartphones para captura de imagens digitais e posterior análise em testes colorimétricos oferece uma alternativa prática e acessível. Este trabalho propõe desenvolver um spot test usando smartphones para capturar e processar imagens resultantes do teste colorimétrico de biureto, permitindo a determinação de proteína em amostras de leite cru.

Metodologia

A proposta adaptou o método colorimétrico de biureto para análise química de leite cru com processamento digital de imagens por smartphones. No método do biureto, átomos de nitrogênio dos peptídeos proteicos formaram complexos com íon cúprico, resultando em uma cor violeta detectável, no comprimento de onda de 540 nm (Gornall et al., 1949). A intensidade da cor foi proporcional à concentração de proteínas na amostra (ROBINSON & HOGDEN, 1940). A curva padrão foi construída com albumina de soro bovino, abrangendo a faixa de 2,0 a 4,0% de proteína, refletindo os níveis típicos encontrados em leite bovino (GUILLOU et al., 1986).

As imagens foram adquiridas com a câmera do smartphone em um miniestúdio fotográfico com iluminação controlada. Em seguida, foram convertidas para valores de cor RGB e processadas no software Image J, selecionando-se a região mais homogênea da imagem para análise. Os dados obtidos foram utilizados no desenvolvimento de um aplicativo desktop e mobile em linguagem Python, capaz de interpretar as respostas analíticas e determinar a concentração de proteínas no leite cru. Os aplicativos foram desenvolvidos para as plataformas Windows e Android.

O aplicativo de smartphone integrou um kit composto pela solução de reação, o aplicativo e um protótipo para acoplar ao celular, garantindo a captura de imagens em condições controladas. Amostras de leite cru foram coletadas em fazendas do Rio Grande do Norte, e os resultados analíticos obtidos pelo smartphone foram comparados

com métodos clássicos como espectrofotometria VIS e espectrometria por transformada de Fourier.

Para assegurar a eficiência e facilidade de uso do software de análise de proteína desenvolvido para smartphones, foi implementado um teste de usabilidade. Esse teste constituiu um método prático para investigar com que facilidade e eficácia os usuários navegaram no produto. O processo envolveu observação direta dos usuários enquanto interagiam com o software, permitindo identificar pontos de dificuldade e barreiras na usabilidade. As informações obtidas através desse método foram cruciais para priorizar melhorias no design e na funcionalidade do software, garantindo uma experiência do usuário aperfeiçoada e intuitiva. Os testes de usabilidade forneceram dados essenciais sobre o comportamento do usuário e foram fundamentais para o desenvolvimento de interfaces intuitivas (RUBIN; CHISNELL, 2008).

A implantação do software (Deploy) correspondeu ao processo de disponibilizar o sistema e suas atualizações para testes ou produção. Para este projeto, o deploy foi realizado na plataforma Play Store para dispositivos Android, permitindo o download e a testagem do software em escala real pelo grupo de pesquisa. Esse passo foi essencial para avaliar o desempenho do software em um ambiente real de uso, coletar feedback dos usuários e realizar ajustes necessários com base nas observações feitas durante o uso prático. O processo de deploy foi importante para garantir que o software estivesse sempre disponível para teste e feedback, permitindo melhorias contínuas (HUMBLE; FARLEY, 2010).

Resultados e Discussões

Foram desenvolvidas duas aplicações para análise do teor proteico em leite cru: uma versão desktop para Windows e uma versão mobile para smartphones. Ambas apresentaram desempenho consistente, com resultados obtidos pelo teste colorimétrico de biureto comparáveis aos valores de referência obtidos em análises laboratoriais para concentrações de até 5% de proteína. Tanto no software desktop quanto no mobile, foi implementado um sistema de calibração, que possibilitou ajustar a função de cálculo da porcentagem de proteína conforme as condições experimentais, garantindo maior precisão dos resultados. Além disso, ambos os sistemas contaram com um banco de dados interno para armazenamento das análises realizadas, permitindo consultas e comparações posteriores. Durante os testes, observou-se que as análises mantiveram alta reprodutibilidade mesmo quando diferentes dispositivos móveis foram utilizados para captura de imagens. Essa estabilidade demonstra a robustez do método proposto e sua aplicabilidade em condições práticas. A comparação com dados da literatura indicou boa correlação entre os resultados obtidos digitalmente e os métodos clássicos de análise, evidenciando a viabilidade do uso de smartphones como alternativa acessível e confiável.

Conclusão

O desenvolvimento do software de análise proteica em versões desktop e mobile demonstrou resultados promissores, alcançando valores equivalentes aos obtidos por métodos laboratoriais tradicionais para concentrações de até 5% de proteína. A implementação de sistemas de calibração e de um banco de dados ampliou a precisão e a usabilidade das aplicações, permitindo não apenas análises rápidas e confiáveis, mas também o armazenamento e recuperação de informações. Os resultados consistentes entre diferentes dispositivos móveis reforçam a aplicabilidade do método em escala real, especialmente em ambientes com restrições de infraestrutura laboratorial. Recomenda-se a continuidade dos estudos para expandir a faixa de detecção, validar o uso em diferentes tipos de leite e integrar funcionalidades que aprimorem ainda mais a experiência do usuário.

Referências

DE KRUIF, C. G.; HUPPERTZ, T.; URBAN, V. S.; PETUKHOV, A. V. Casein micelles and their internal structure. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 171–172, p. 36–52, 2012. • DE WIT, J. N. Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products. *Journal of Dairy Science*, United States, v. 81, p. 597-608, 1998. • EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Gado do Leite – Importância Econômica. Disponível em <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteCerrado/importancia.html> Acesso em 20 abr 2023. • GORNALL, A. G., BARDAWILL, C. J., DAVID, M. M. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *Journal of Biological Chemistry*, 177, 751–766, 1949. • GUILLOU, H., PELISSIER, J. P., & GRAPPIN, R. Méthodes de dosage des protéines du lait de vache. *Le Lait*, 66(2), 143–175, 1986. • ROBINSON, W.R., HOGDEN, G. H. The biuret reaction in the determination of serum proteins: A study of the conditions necessary for the production of a stable color, which bears a quantitative relationship to the protein concentration. *Journal of Biological Chemistry*, Volume 135, Issue 2, Pages 707-725, 1940. • KANCHI, S.; SABELA, M.I.; MDLULI, P.S.; INAMUDDIN, BISETTY, K. Smartphone-based bioanalytical and diagnosis applications: A review. *Biosensors & Bioelectronics*, 102, pp. 136-149, 2018. • ROSS, G.M.S.; BREMER, M.G.E.G.; NIELEN, M.W.F. Consumer-friendly food allergen detection: Moving towards smartphone-based immunoassays. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(22), pp. 5353-5371, 2018. • SILVA, A. F. de S.; ROCHA, F. R. P. A novel approach to detect milk adulteration based on the determination of protein content by smartphone-based digital image colorimetry. *Food Control*, v. 115, 2020. • SONG, W.; JIANG, N.; WANG, H.; VINCENT, J. Use of smartphone videos and pattern recognition for food authentication. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 304, 2020. • ZHANG, D.; LIU, Q. Biosensors and bioelectronics on smartphone for portable biochemical detection. *Biosensors & Bioelectronics*, 75, pp. 273-284, 2016. • Beyer, H., & Holtzblatt, K. *Contextual Design: Defining Customer-Centered Systems*. Morgan Kaufmann, 1997. • Humble, J., & Farley, D. *Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation*. Addison-Wesley Professional

CÓDIGO: SB0844

AUTOR: PAULO FELIPE CAMARA DE MACEDO

ORIENTADOR: BEATRIZ DE CASSIA MARTINS SALOMAO

TÍTULO: Avaliação e comparação do potencial antibacteriano dos extratos de acerola seco e in natura e implementação dos extratos em bebida de acerola.

Resumo

Este estudo teve como objetivo quantificar os compostos fenólicos em extratos hidroalcoólicos de resíduo de acerola, tanto in natura quanto desidratado, visando avaliar seu potencial como fonte de antioxidantes naturais e agentes antimicrobianos. Os resíduos foram preparados em solução hidroalcoólica (1:1) a 15% (m/v) e submetidos à extração por ultrassom, seguida de agitação mecânica. O teor de compostos fenólicos foi quantificado pelo método de microplacas utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, e a atividade antioxidante foi avaliada contra os radicais DPPH e ABTS. A atividade antibacteriana foi determinada por meio da técnica de concentração inibitória mínima (CIM), utilizando as cepas de *E. coli* e *S. aureus*. Os extratos apresentaram teores de compostos fenólicos de 15,90 mg EAG/g para o extrato in natura e 77,60 mg EAG/g para o extrato desidratado. O extrato de resíduo desidratado demonstrou alta atividade antioxidante, com $212,13 \pm 4,05 \mu\text{mol TE/g}$ contra o radical ABTS e $170,47 \pm 4,65 \mu\text{mol TE/g}$ contra o radical DPPH. A atividade antibacteriana do extrato desidratado foi significativamente maior que a do extrato in natura, com CIM de 75 mg/mL para *E. coli* e 37,5 mg/mL para *S. aureus*. Os resultados deste estudo indicam que o resíduo de acerola possui alto teor de compostos fenólicos e expressiva atividade antioxidante e antimicrobiana.

Palavras-chave: Resíduo de acerola, Compostos fenólicos, Antioxidantes, Antimicrobiano

TITLE: Valorization of acerola waste: a sustainable approach for obtaining bioactive compounds with antioxidant and antimicrobial properties

Abstract

This study aimed to quantify the phenolic compounds in hydroalcoholic extracts from acerola residue, both in natura and dehydrated, in order to assess its potential as a source of natural antioxidants and antimicrobial agents. The residues were prepared in a hydroalcoholic solution (1:1) at 15% (m/v) and subjected to ultrasound extraction,

followed by mechanical agitation. The phenolic content was quantified using the microplate method with the Folin-Ciocalteu reagent, and antioxidant activity was evaluated against the DPPH and ABTS radicals. The antibacterial activity was determined using the minimum inhibitory concentration (MIC) technique, employing *E. coli* and *S. aureus* strains. The extracts exhibited phenolic contents of 15.90 mg EAG/g for the in natura extract and 77.60 mg EAG/g for the dehydrated extract. The dehydrated residue extract showed high antioxidant activity, with 212.13 ± 4.05 $\mu\text{mol TE/g}$ against the ABTS radical and 170.47 ± 4.65 $\mu\text{mol TE/g}$ against the DPPH radical. The antibacterial activity of the dehydrated extract was significantly higher than that of the in natura extract, with MIC values of 75 mg/mL for *E. coli* and 37.5 mg/mL for *S. aureus*. The results of this study indicate that acerola residue has a high content of phenolic compounds and significant antioxidant and antimicrobial activity.

Keywords: Acerola residue, Phenolic compounds, Antioxidant, Antimicrobiological.

Introdução

O Brasil é um grande produtor mundial de frutas. O setor agroindustrial brasileiro é um dos ramos que mais gera lucro devido ao seu clima tropical e sua diversidade frutífera. Porém, com a alta produtividade industrial, surgem problemas com os resíduos do processamento das frutas e vegetais. A destinação desse resíduo agroindustrial normalmente é a incineração em caldeiras ou ração animal, onde são perdidos muitos nutrientes e compostos bioativos, presentes nesse rejeito. Atualmente estes resíduos começaram a ser estudados pela indústria de alimentos, devido ao grande potencial antioxidante e antimicrobiano que determinados compostos podem apresentar (Rocha, 2019).

A acerola (*Malpighia emarginata* DC.) é nativa da América Central e América do Sul. Os frutos são excepcionalmente ricos em vitamina A e C, sendo também fonte de ferro e cálcio, além de conter outras vitaminas do complexo B, como tiamina, riboflavina e niacina. O Brasil possui um grande diferencial agroindustrial desta fruta devido à sua alta capacidade de aproveitamento industrial, com plantios comerciais em todos os estados, especialmente na região Nordeste que detém aproximadamente 70% da produção nacional, seguido do Sudeste com aproximadamente 15% (Furlaneto; Nasser, 2015). O processamento da acerola rende em média 13,3% de resíduo, que é constituído em sua maioria pela semente, polpa macerada e frutos refugados (Almeirda et al., 2014).

Os antioxidantes presentes em frutas como a acerola são compostos que podem retardar ou inibir a oxidação de moléculas evitando o início ou a propagação das reações em cadeia da oxidação. Estruturalmente, estes compostos apresentam um anel aromático e possuem um ou mais substituintes hidroxílicos, sendo geralmente classificados em sintéticos ou naturais. Na indústria de alimentos, as reações de oxidação são responsáveis por indesejáveis alterações sensoriais e redução da vida útil de produtos (Degáspari; Waszczynsky, 2004). Dentre os antioxidantes naturais presentes em estruturas vegetais, destacam-se os compostos fenólicos, que incluem os tocoferóis, os flavonóides, os taninos e os ácidos fenólicos (Broinizi et al., 2007; Souza et al., 2011).

Muitas pesquisas têm evidenciado que estes compostos são os principais responsáveis pela propriedade antioxidante (Kuskoski et al., 2005; Vieira et al., 2011), podendo também atuar como antimicrobianos (Ferruz et al., 2016; Oliveira et al., 2007; Oliveira; Furlong, 2008; Souza, 2010).

As propriedades antimicrobianas de substâncias retiradas de plantas e frutíferas têm sido reconhecidas empiricamente durante séculos, porém, sua confirmação científica deu-se apenas recentemente (Arrais, 2012). Essas substâncias químicas são metabólitos secundários produzidos pelas plantas que desempenham um importante papel na sua proteção natural, sendo que muitas destas substâncias além de apresentarem potencial antimicrobiano, também possuem diversos componentes com propriedades antioxidantes (Silva, 2014).

Com o objetivo de agregar valor à resíduos agroindustriais e explorar seu potencial como fontes de antioxidantes e antimicrobianos naturais, este trabalho buscou quantificar os compostos fenólicos presentes em extratos hidroalcoólicos de resíduos de acerola, tanto in natura quanto desidratados em estufa, determinando seu potencial antioxidante e a atividade antibacteriana frente às bactérias *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*.

Metodologia

2.1. ELABORAÇÃO DOS EXTRATOS

O resíduo de acerola utilizado foi fornecido por uma indústria local (Natal, RN, Brasil). Esse resíduo é composto por cascas, sementes e restos de polpa de acerola, sendo mantido sob refrigeração até realização das análises. Foram preparados dois tipos de extratos: o extrato elaborado com resíduo in natura (EA-I) e o extrato elaborado com resíduo desidratado (EA-D).

Para a elaboração do EA-D, o resíduo foi previamente desidratado em estufa de ar circulante a 40°C por 48 horas. Após a secagem, o material foi moído (TE-621, Tecnal, Brasil) até obtenção de pó homogêneo e mantido sob congelamento. Os extratos foram preparados na concentração de 15% (m/v), utilizando-se 63 g de resíduo para 420 mL de solvente, composto por 50% de água destilada e 50% de álcool 95°. As misturas foram submetidas à ultrassonicação (40 kHz) em banho aquecido a 45°C por 20 minutos, seguido de agitação mecânica a 220 rpm por 30 minutos, conforme o método descrito por Nayak et al. (2018). Em seguida, as misturas foram filtradas em papel qualitativo a vácuo e centrifugadas a 4000 rpm e 4°C por 15 minutos. Os sobrenadantes resultante foram submetidos à rotaevaporação a 50°C, reduzindo o volume inicial pela metade, conforme descrito por Hoskin et al. (2019).

2.2. QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

O teor de fenólicos totais foi determinado conforme metodologia de Singleton et al. (1999). Para a quantificação do conteúdo fenólico total, foram adicionados a microplacas de 96 poços 50 μL de água destilada, 25 μL de amostra filtrada (0,45 μm), 25 μL de reagente de Folin-Ciocalteu (diluição 1:1) e 100 μL de solução de bicarbonato de sódio a 7,5% (p/v). Após incubação de 90 minutos em temperatura ambiente e no escuro, a absorbância das soluções foi medida a 765 nm em um leitor de microplacas (Biochrom, Cambridge, Inglaterra). Utilizando uma curva padrão de ácido gálico (6,5-250 mg/L), os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico por grama de amostra (mg EAG/g).

2.3. DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A capacidade antioxidante foi determinada por meio dos ensaios de radical livre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) e 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (ABTS). Para ambos os ensaios, uma curva padrão foi construída com diferentes concentrações de Trolox, e os resultados foram expressos em μmol de Trolox Equivalente por grama de amostra ($\mu\text{mol TE/g}$). A atividade antioxidante contra o radical DPPH foi determinada com base no protocolo descrito por Bobo-Garcia et al. (2015). Em resumo, 20 μL de amostra previamente filtrada por membrana de 0,45 μm (Sartorius Stedim) foram adicionados a 180 μL de solução de DPPH (150 μM), preparada em metanol-água a 80%. A mistura foi incubada no escuro, em temperatura ambiente, por 40 minutos. Após esse período, a absorbância foi medida a 515 nm utilizando um leitor de microplacas UVM 340 (Biochrom, Cambridge, Inglaterra). O ensaio contra o radical ABTS seguiu o método descrito por Re et al. (1999), com pequenas adaptações. A solução de ABTS foi preparada misturando 7,0 mM de ABTS com 140 mM de persulfato de potássio na proporção de 5:1, incubada no escuro por 16 horas. Em seguida, a solução foi diluída com etanol até alcançar uma absorbância de 0,7 a 734 nm. Para a análise, 20 μL de amostra filtrada (0,45 μm , Sartorius Stedim) foi misturada a 280 μL da solução de ABTS diluída. Após 6 minutos de incubação em condições de baixa luminosidade, a absorbância foi medida a 734 nm no leitor de microplacas UVM 340 (Biochrom, Cambridge, Inglaterra).

2.4. PREPARO DAS SUSPENSÕES BACTERIANAS

Foram utilizadas as cepas bacterianas *Staphylococcus aureus* NCTC 12981 e *Escherichia coli* NCTC 12241, fornecidas pelo Departamento de Microbiologia e Parasitologia da UFRN. Os microrganismos foram cultivados em meio TSA (ágar tripticase de soja) por 24 horas a 35°C, seguindo o protocolo descrito por Oliveira (2014). As suspensões bacterianas foram preparadas em solução salina a 0,85% e padronizadas para atingir a turbidez correspondente ao padrão McFarland 0,5, equivalente a uma concentração celular aproximada de $1,5 \times 10^8$ UFC/mL, conforme as diretrizes do National Committee for Clinical Laboratory Standards (2009). Posteriormente, a suspensão foi diluída em solução salina até obter uma concentração final de aproximadamente $1,5 \times 10^4$ UFC/mL.

2.5. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO INIBITÓRIA MÍNIMA (MIC)

A Concentração Inibitória Mínima (MIC) é a menor dose de um agente antimicrobiano capaz de inibir o crescimento do microrganismo testado em meio de cultura, seja líquido

ou sólido. A determinação da MIC foi realizada pela técnica de macrodiluição em tubos, conforme descrito por Bernardi, Meurer e Arantes (2012), com adaptações. O experimento foi conduzido utilizando oito tubos de ensaio estéreis, cada um contendo 2,0 mL de caldo BHI. No primeiro tubo (tubo 1), foram adicionados 2,0 mL do extrato padronizado com concentração de 150 mg/mL, resultando em uma concentração inicial de 75mg/mL. Em seguida, realizou-se uma diluição seriada, do tubo 2 ao tubo 6, reduzindo a concentração do extrato em cada etapa pela metade. O tubo 7 foi utilizado como controle do meio, contendo apenas caldo BHI, enquanto o tubo 8 serviu como controle do extrato, contendo o extrato sem a adição da suspensão bacteriana. Em cada um dos tubos de teste (tubos 1 a 6), foram adicionados 100 μ L da suspensão bacteriana padronizada ($1,5 \times 10^4$ UFC/mL). Os tubos foram incubados a $37 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24h. Após o período de incubação, a MIC foi determinada com base na turbidez das amostras em comparação aos controles. Adicionalmente, foi realizada a contagem de células viáveis a partir das amostras dos tubos, semeadas em placas de TSA pelo método de plaqueamento em superfície e incubadas a $37 \pm 2^\circ\text{C}$ por 48 horas para avaliação final.

Resultados e Discussões

4.1. COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Compostos fenólicos, também chamados de polifenóis, são metabólitos secundários amplamente presentes em plantas, onde desempenham funções essenciais nos processos de crescimento e nos mecanismos de defesa (Tariq; Ahmed, 2024). A acerola é reconhecida pelos elevados teores de compostos fenólicos, que desempenham atividades biológicas diversas, incluindo atividade antioxidante e antimicrobiana (Borges et al., 2021; Santos et al., 2024).

Conforme apresentado na Tabela 1, o extrato elaborado com resíduo de acerola desidratado apresentou elevada concentração de compostos fenólicos totais, atingindo uma concentração de $77,60 \pm 2,45$ mg EAG/g. Os resultados encontrados nesse estudo foram significativamente maiores do que os obtidos por Borges et al. (2021) utilizando extração hidrotermal ($34,9 \pm 1.8$ mg EAG/g) e por shaker (26.5 ± 1.7 e 23.5 ± 2.5 mg EAG/g) de resíduos de acerola, e por Gualberto et al. (2021) com extração em shaker e ultrassom utilizando 80% etanol (417.34 ± 20.42 e 378.69 ± 23.53 EAG/100g de massa seca, respectivamente). Esses resultados evidenciam a influência do método de extração na eficiência de recuperação de compostos fenólicos, com a combinação de ultrassom e solventes alcoólicos demonstrando ser uma estratégia promissora. No entanto, os extratos elaborados nesse estudo foram concentrados por rotaevaporação, o que pode explicar os maiores teores de compostos bioativos encontrados neste estudo em comparação aos trabalhos mencionados.

Compostos antioxidantes são moléculas capazes de inibir ou retardar a oxidação, neutralizando espécies reativas de oxigênio (ROS), contribuindo para a prevenção de doenças relacionados aos danos oxidativos (Batista et al., 2023). A análise da atividade antioxidante dos extratos revelou que o resíduo de acerola desidratado apresentou valores significativamente mais elevados (212,13 e 170,47 $\mu\text{mol TE/g}$ para ABTS e DPPH, respectivamente) em comparação com o resíduo in natura, demonstrando a

efetividade do processo de secagem em concentrar os compostos bioativos com atividade antioxidante. Além disso, é observado maior inibição contra o radical ABTS comparado ao DPPH. Padrão similar foi observado por Borges et al. (2021), que reportou valores de atividade antioxidante contra DPPH de $287.5 \pm 14.8 \mu\text{mol TE/g}$ e maiores atividade antioxidantes contra o radical ABTS ($368.97 \pm 8.6 \mu\text{mol TE/g}$) em extratos aquosos de resíduo de acerola. Gualberto et al. (2021) também observaram alta atividade antioxidante, com valores de $2226,24 \pm 8.24 \mu\text{mol TE/ 100 g}$ de massa seca para DPPH e $12055,18 \pm 185.51 \mu\text{mol TE/ 100 g}$ de massa seca para ABTS, em extratos alcoólicos (80% etanol) de resíduos de acerola.

4.2. ATIVIDADE ANTIBACTERIANA

A atividade antimicrobiana dos extratos de resíduo de acerola, in natura e desidratado em estufa, foi avaliada a partir da concentração inibitória mínima. Conforme apresentado na Tabela 1, os valores variaram entre 37,5 e 150 mg/L, evidenciando a influência do tipo de bactéria e do resíduo utilizado (in natura e desidratado). O resíduo de acerola desidratado demonstrou maior eficácia antimicrobiana em comparação ao in natura, o que é esperado devido ao aumento da concentração de compostos bioativos após o processo de secagem. Resultados similares foram obtidos por Delva e Goodrich-Schneider (2013), que observaram, por meio do método de disco difusão, que o extrato de acerola in natura não apresentou atividade antibacteriana contra *E. coli* e *S. aureus*, diferentemente do extrato liofilizado. A concentração inibitória mínima (MIC) de extratos obtidos de resíduos de frutas tropicais varia significativamente conforme o tipo de fruta e o método de extração utilizado. Estudos têm destacado o potencial antimicrobiano desses extratos frente a diferentes bactérias patogênicas, evidenciando sua eficácia e viabilidade como agentes antimicrobianos naturais (Santos et al., 2023). Por exemplo, Santos e Santana (2019) demonstraram que extratos de casca de sapoti, casca e semente de noni, casca de mirtilo e casca de tamarillo, preparados com diferentes solventes, apresentaram atividade antimicrobiana semelhante contra um amplo espectro de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, exibindo uma MIC média de 0,39 mg/mL.

É observado também maior sensibilidade de *S. aureus* em comparação a *E. coli* aos extratos de resíduo acerola. Esses resultados estão alinhados com os estudos de Delva e Goodrich-Schneider (2013), que relataram inibição de *S. aureus* por extratos de acerola liofilizados, enquanto não identificaram atividade inibitória contra *E. coli*. Em estudos realizados Santos et al. (2023), foi demonstrado que o extrato otimizado de resíduos de acerola apresentou atividade antimicrobiana contra *Salmonella Typhimurium* (bactéria Gram-negativa) e *Listeria monocytogenes* (bactéria Gram-positiva). No entanto, a eficácia foi notavelmente maior contra bactérias Gram-positivas. Esse comportamento é consistente com a tendência geral observada em extratos de origem vegetal, atribuída à estrutura mais simples da parede celular de bactérias Gram-positivas, que facilita a penetração de compostos bioativos (Anusha & Manogem, 2024; Touzout et al., 2024).

A atividade antimicrobiana é principalmente associada aos compostos fenólicos, especialmente flavonoides, ácidos orgânicos e outros fitoquímicos presentes em estruturas vegetais (Delva; Goodrich-schneider, 2013). É demonstrado que a quercetina, classe de flavonoides reportada em resíduos de acerola (Borges et al., 2021), apresenta efeitos antibacterianos significativos, com estudos mostrando sua capacidade de inibir a

atividade hemolítica de *S. aureus* em concentrações abaixo de sua concentração inibitória mínima (CIM). Essa atividade é atribuída ao rompimento das membranas celulares bacterianas, levando a alteração da fluidez da membrana, o que contribui para suas propriedades antibacteriana (Lee et al., 2024; Veiko et al., 2023; Yu et al., 2021).

Conclusão

Os resíduos de acerola, tanto in natura quanto desidratado, apresentaram um potencial como fontes de compostos fenólicos com atividades antioxidante e antimicrobiana. A secagem do resíduo mostrou-se um processo essencial para a concentração desses compostos bioativos, como evidenciado pelos maiores teores de compostos fenólicos e pela maior atividade antioxidante e antibacteriana do extrato desidratado em comparação ao extrato in natura. Os extratos de resíduo desidratado demonstraram elevada capacidade de inibição de radicais livres e atividade antimicrobiana contra as cepas de *E. coli* e *S. aureus*, destacando-se maior atividade antibacteriana contra *S. aureus*. Esses resultados reforçam o potencial do resíduo de acerola como uma fonte promissora de ingredientes funcionais para a indústria de alimentos, especialmente para o desenvolvimento de antioxidantes e antimicrobianos naturais. A valorização desse subproduto agroindustrial contribui, assim, para a sustentabilidade e inovação no setor de alimentos.

Referências

ALMEIDA, J. S. et al. Use of by-products of fruit in animal feed. *Revista Eletrônica Nutritime*, v. 11, n. 03, p. 3430-3443, 2014.

ANUSHA, E.; MANOGEM, E. M. Extraction and characterization of bioactive compounds from plant, *Michelia champaca* (L) in polar solvents: GC-MS and antibacterial properties. *Ecology, Environment & Conservation*, v. 30, p. 2024.

ARRAS, L.G. Estudo fitoquímico e avaliação da atividade antimicrobiana e farmacológica de *Croton pulegioides* Baill (Euphorbiaceae). Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Ciências Biológicas. 109 páginas. Pós-graduação em Biotecnologia industrial, 2012.

BATISTA, Kamila Sabino et al. Antioxidant potential of acerola by-product along the enterohepatic axis of rats fed a high-fat diet. *Food Research International*, v. 173, p. 113380, 2024.

BERNARDI, Natália de Oliveira; MEURER, Marisa; ARANTES, Vinícius Pereira Arantes. Estudo da atividade antibacteriana de extratos vegetais de *Azadirachta indica*

“Neem” frente a cepa padrão de *Streptococcus pyogenes* ATCC 19615. Arq. Ciênc. Saúde UNIPAR, Umuarama, v. 16, n. 3, p. 117-122, set./dez. 2012.

BOB-GARCÍA, G. et al. Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 95, n. 1, p. 204-209, 2015.

BORGES, Otília Mônica Alves et al. Integrated green-based methods to recover bioactive compounds from by-product of acerola processing. LWT, v. 151, p. 112104, 2021.

BROINIZI, P.R.B. et al. Avaliação da atividade antioxidante dos compostos fenólicos naturalmente presentes em subprodutos do pseudofruto de caju (*Anacardium occidentale* L.). Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 27, n. 4, p. 902-908, 2007.

DELVA, L.; GOODRICH-SCHNEIDER, R. Antioxidant activity and antimicrobial properties of phenolic extracts from acerola (*Malpighia emarginata* DC) fruit. International Journal of Food Science and Technology, v. 48, n. 5, p. 1048-1056, 2013.

DELVA, L.; GOODRICH-SCHNEIDER, R. Antioxidant activity and antimicrobial properties of phenolic extracts from acerola (*Malpighia emarginata* DC) fruit. International Journal of Food Science and Technology, v. 48, n. 5, p. 1048-1056, 2013.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. Visão Acadêmica, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.

FERRUZ, et al. Inhibition of *Fusarium* Growth and Mycotoxin Production in Culture Medium and in Maize Kernels by Natural Phenolic Acid. Journal of Food Protection, v. 79, n. 10, p. 1753–1758, 2016.

FURLANETO, F. P. B.; NASSER, M. D. Panorama da cultura da acerola no estado de São Paulo. Pesquisa & Tecnologia, v. 12, n. 1, 2015.

HOSKIM, Roberta Targino et al. Blueberry Polyphenol-Protein Food Ingredients: The Impact of Spray Drying on the in Vitro Antioxidant Activity, Anti-Inflammatory Markers, Glucose Metabolism and Fibroblast Migration. Food Chemistry, v. 280, p. 187-194, 2019.

KUSKOSKI, E.M. et al. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar atividade antioxidante em pulpa de frutos. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 25, n. 4, p. 726-732, 2005.

LEE, Jin-Hyung et al. Antibiofilm and antihemolytic activities of *Actinostemma lobatum* extract rich in quercetin against *Staphylococcus aureus*. Pharmaceutics, v. 16, n. 8, p. 1075, 2024.

LEAL, Jennifer Dayannie Santos; MOISÉS, Gabrielly Martins; SILVA, Ana Beatriz Pina da Silva; TELES, Emilly Benicio. Avaliação da substituição de benzoato de sódio

por extrato de camomila na conservação do suco de goiaba. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em Química) - Escola Técnica Estadual ETEC Irmã Agostina (Jardim Satélite - São Paulo), São Paulo, 2023.

MAIA, Geraldo Arraes; SOUSA, Paulo Henrique Machado de; SANTOS, Gerusa Matias dos; et al. Efeito do processamento sobre componentes do suco de acerola. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, v. 27, n. 1, p. 130–134, 2007.

MARTINS, Thielly Ribeiro. Análise do teor de compostos bioativos do capim santo (*cymbopogon citratus*) in natura e sob extrato de infusão. 2023. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Nutrição, Universidade Federal do Pará, Belém, 2023.

NAYAK, A.; BHUSHAN, B.; ROSALES, A.; et al. Valorisation potential of Cabernet grape pomace for the recovery of polyphenols: Process intensification, optimisation and study of kinetics. *Food and Bioproducts Processing*, v. 109, p. 74–85, 2018.

National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS). Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests; Approved Standard - 11th Ed. CLSI. Wayne, p. 76. (2162-2914), 2012.

OLIVEIRA, L. M. N. Quantificação de rutina, atividades antioxidante e antimicrobiana de extratos de polpas e subprodutos de frutas tropicais. 2014.

OLIVEIRA, M.S. et al. Atividade antioxidante e antifúngica de extratos vegetais. *Alim. Nutr.*, Araraquara, v. 18, n. 3, p. 267-275, jul./set. 2007.

OLIVEIRA, M.S.; FURLONG, E.B. Screening of antifungal and antimycotoxigenic activity of plant phenolic extracts. *World Mycotoxin Journal*, p. 139-146, 2008.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999.

ROCHA, Ana Júlia Almeida César. Avaliação do potencial antimicrobiano do extrato da acerola. 2019. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SILVA, L.M.R. Compostos bioativos em polpas e subprodutos de frutas tropicais: quantificação, atividade antimicrobiana e encapsulamento. Tese (doutorado), Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2014.

SILVA, Guilherme Douglas Freitas et al. Avaliação da atividade antimicrobiana do extrato de *Malpighia emarginata* frente à *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* in vitro. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 3, p. e10411326291-e10411326291, 2022.

SOUSA, M.S.B. et al. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de resíduos de polpas de frutas tropicais. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 14, n. 3, p. 1-9, 2011.

SOUZA, M.M. et al. Avaliação da atividade antifúngica de extratos fenólicos de cebola, farelo de arroz e microalga *Chlorella pyrenoidosa*. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 30, n. 3, p. 680-685, jul.-set. 2010.

TARIQ, Aqsa; AHMED, Ambreen. Plant phenolics production: a strategy for biotic stress management. In: *Plant phenolics in biotic stress management*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 441-454.

TOUZOUT, Soraya Naila et al. Antibacterial properties of methanolic leaf extracts of *Melia azedarach* L. against gram-positive and gram-negative pathogenic bacteria. *Microorganisms*, v. 11, n. 8, p. 2062, 2023.

VEIKO, Artem G. et al. Antimicrobial activity of quercetin, naringenin and catechin: flavonoids inhibit *Staphylococcus aureus*-induced hemolysis and modify membranes of bacteria and erythrocytes. *Molecules*, v. 28, n. 3, p. 1252, 2023.

VIEIRA, L.M. et al. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de polpas de frutos tropicais. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 33, n. 3, p. 888-897, 2011.

YU, Jae Sik et al. Potential antimicrobial activity of galloyl-flavonoid glycosides from *Woodfordia uniflora* against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Frontiers in Microbiology*, v. 12, p. 784504, 2021.

Anexos



Compostos Fenólicos e atividade antioxidante



Antimicrobiano

CÓDIGO: SB0903

AUTOR: ALANNA ACUCENA DE SOUZA BATISTA

ORIENTADOR: BEATRIZ DE CASSIA MARTINS SALOMAO

TÍTULO: Potencial antimicrobiano do extrato de resíduo de polpa de acerola liofilizado (*Malpighia emarginata* DC.)

Resumo

Este estudo investigou a atividade antibacteriana do extrato hidroalcoólico liofilizado do resíduo da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* DC.), uma fruta tropical rica em vitamina C e compostos fenólicos, que frequentemente gera resíduos significativos na indústria. O objetivo foi avaliar a eficácia do extrato contra as cepas de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, que são relevantes na saúde pública devido à resistência a antibióticos. O resíduo foi liofilizado e macerado, e o extrato foi preparado em uma concentração de 15% utilizando um solvente hidroalcoólico (50% água destilada e 50% etanol 95°). A extração foi realizada por ultrassonificação e agitação, seguida de filtração e centrifugação. A atividade antimicrobiana foi avaliada por meio de diluições seriadas em caldo BHI, inoculadas com uma suspensão bacteriana padronizada e incubadas a 37 °C por 24 horas. Os resultados mostraram que o extrato foi eficaz contra ambas as bactérias, com inibição observada até 75 mg/mL para *S. aureus* e resistência de *E. coli* a concentrações mais baixas. Os dados sugerem que o extrato de resíduo de polpa de acerola possui potencial como um agente antimicrobiano natural, contribuindo para a valorização de subprodutos agroindustriais e oferecendo uma alternativa viável para o desenvolvimento de produtos antimicrobianos em diversas áreas, como alimentos, farmacêuticos e cosméticos. A pesquisa destaca a importância de explorar o uso sustentável de resíduos na indústria.

Palavras-chave: Resíduo agroindustrial.Acerola.Extrato liofilizado.

TITLE: Antimicrobial Potential of Lyophilized Acerola Pulp Residue Extract (*Malpighia emarginata* DC.)

Abstract

This study investigated the antibacterial activity of the freeze-dried hydroalcoholic extract from acerola pulp residue (*Malpighia emarginata* DC.), a tropical fruit rich in

vitamin C and phenolic compounds, which often generates significant waste in the industry. The objective was to evaluate the extract's efficacy against the strains of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*, which are relevant in public health due to antibiotic resistance. The residue was freeze-dried and ground, and the extract was prepared at a concentration of 15% using a hydroalcoholic solvent (50% distilled water and 50% 95% ethanol). Extraction was performed through ultrasonication and agitation, followed by filtration and centrifugation. Antimicrobial activity was assessed through serial dilutions in BHI broth, inoculated with a standardized bacterial suspension and incubated at 37 °C for 24 hours. The results showed that the extract was effective against both bacteria, with inhibition observed up to 75 mg/mL for *S. aureus* and resistance of *E. coli* at lower concentrations. The data suggest that the acerola pulp residue extract has potential as a natural antimicrobial agent, contributing to the valorization of agro-industrial by-products and offering a viable alternative for the development of antimicrobial products in various fields, such as food, pharmaceuticals, and cosmetics. The research highlights the importance of exploring the sustainable use of waste in the industry.

Keywords: Agro-industrial residue. Acerola. Lyophilized extract. Bioactiv

Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores de frutas do mundo, o que resulta em um elevado volume de resíduos agroindustriais. Dentre essas frutas, a acerola (*Malpighia emarginata* DC.) se destaca por ser rica em vitamina C e compostos fenólicos, que têm despertado interesse pelo potencial funcional de seus subprodutos. (FURLANETO; NASSER, 2015; MAIA et al., 2007). Esses compostos bioativos são conhecidos por suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, atuando como uma barreira natural contra microorganismos (DELVA; GOODRICH-SCHNEIDER, 2013). Essa característica torna a acerola uma alternativa viável à utilização de conservantes sintéticos, especialmente em um contexto onde a demanda por soluções sustentáveis e seguras para as indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética está em crescimento (FURLANETO, NASSER, 2015; DELVA; GOODRICH-SCHNEIDER, 2024; DEGÁSPARI; WASZCZYNSKYJ, 2004).

A valorização dos resíduos da acerola não apenas contribui para a redução do desperdício, mas também propõe uma alternativa natural e eficaz para o controle de microorganismos patogênicos (ROCHA, 2019). A utilização de subprodutos da acerola como agentes antimicrobianos pode representar um avanço significativo na busca por soluções que atendam às exigências de segurança e sustentabilidade nas indústrias (FURLANETO; NASSER, 2015; DELVA; GOODRICH-SCHNEIDER, 2013; DEGÁSPARI; WASZCZYNSKYJ, 2004). Assim, este estudo não apenas investiga a potencialidade do extrato de acerola, mas também busca contribuir para a promoção de práticas mais sustentáveis e inovadoras no uso de agroindustriais. (SILVA, 2014).

Neste cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar a atividade antibacteriana do extrato de resíduo da polpa de acerola liofilizado. A pesquisa focou na eficácia desse extrato contra as bactérias *Staphylococcus aureus* NCTC 12981 e *Escherichia coli*

NCTC 12241, que são relevantes na saúde pública devido à sua resistência a antibióticos (SILVA et al., 2022; BERNARDI; MEURER; ARANTES, 2012). A determinação da concentração inibitória mínima (MIC) foi realizada para identificar a quantidade necessária do extrato capaz de inibir o crescimento microbiano dessas cepas (BERNARDI; MEURER; ARANTES, 2012).

A pesquisa, portanto, se insere em um contexto mais amplo de valorização de resíduos e busca por alternativas naturais, alinhando-se às tendências atuais de consumo consciente e responsabilidade ambiental. A acerola, com suas propriedades funcionais, pode se tornar um importante aliado na formulação de produtos que atendam às necessidades do mercado, ao mesmo tempo em que promove a saúde pública e a preservação do meio ambiente (FURLANETO; NASSER, 2015).

Metodologia

O resíduo de polpa de acerola, um subproduto gerado durante o processamento dessa fruta rica em vitamina C, foi submetido a um cuidadoso processo de liofilização, que ocorreu em temperaturas que variaram entre -40 °C e 0°C. Esse método de desidratação é fundamental para preservar as propriedades bioativas do material, evitando a degradação dos compostos sensíveis ao calor (NAYAK et al., 2018). Após a liofilização, o resíduo foi macerado para obter um pó seco, que foi utilizado na preparação do extrato a 15% (63 g de pó para 420 mL de solvente hidroalcoólico, composto por uma mistura de 50% de água destilada e 50% de etanol a 95°).

A extração dos compostos bioativos foi realizada por meio de ultrassonificação, utilizando uma frequência de 40 kHz a uma temperatura de 45 °C durante 20 minutos. Esse processo é conhecido por aumentar a eficiência da extração, promovendo a liberação dos compostos desejados das células vegetais (NAYAK et al., 2018). Após a ultrassonificação, o extrato foi submetido a agitação a 220 rpm por 30 minutos, seguido de filtração sob vácuo e centrifugação a 4000 rpm a 4 °C por 15 minutos. O sobrenadante resultante foi concentrado por rota de evaporação a 50 °C até atingir metade do volume inicial, garantindo a concentração dos compostos bioativos (HOSKIM et al., 2019).

Para a avaliação da atividade antibacteriana do extrato, foram realizadas diluições seriadas em caldo BHI (Brain Heart Infusion), nas concentrações de 100%, 75%, 50%, 25% e 12,5%. Cada tubo de ensaio recebeu 100 µL de uma suspensão bacteriana padronizada, com uma concentração de $1,5 \times 10^8$ UFC/mL, e foi incubado a 37 °C por 24 horas. A atividade antimicrobiana foi avaliada pela presença ou ausência de crescimento bacteriano em placas de ágar TSA (Tryptic Soy Agar), um meio nutritivo que favorece o crescimento de uma ampla gama de microrganismos (NATIONAL COMMITTEE FOR CLINICAL LABORATORY STANDARDS, 2012).

Os resultados obtidos a partir desses ensaios são de grande relevância, pois indicam o potencial do extrato de resíduo de polpa de acerola como um agente antimicrobiano natural. A ausência de crescimento bacteriano em determinadas diluições do extrato

sugere que os compostos bioativos presentes na acerola podem inibir a proliferação de patógenos como *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, que são frequentemente associados a infecções alimentares e hospitalares (SILVA et al., 2022).

Além disso, a utilização de resíduos agroindustriais, como a polpa de acerola, para a produção de extratos com propriedades funcionais não apenas contribui para a sustentabilidade, reduzindo o desperdício, mas também oferece uma alternativa viável e natural aos conservantes sintéticos (ALMEIDA et al., 2014). Essa abordagem se alinha com as tendências atuais de consumo consciente e a busca por produtos mais saudáveis e seguros.

Portanto, este estudo não apenas investiga a eficácia do extrato de acerola, mas também propõe um modelo de valorização de resíduos que pode ser aplicado em diversas indústrias, incluindo a alimentícia, farmacêutica e cosmética. A pesquisa destaca a importância de explorar o potencial dos subprodutos da acerola, promovendo a inovação e a sustentabilidade em processos industriais. A continuidade de investigações nessa área pode abrir novas possibilidades para o uso de extratos naturais, contribuindo para a saúde pública e a preservação ambiental.

Resultados e Discussões

Os resultados obtidos na pesquisa demonstraram que o extrato de resíduo de polpa de acerola foi eficaz contra ambas as bactérias testadas, *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, nas concentrações de 150 mg/mL e 112,5 mg/mL. Para *S. aureus*, a inibição do crescimento bacteriano se manteve até a concentração de 75 mg/mL, enquanto *E. coli* apresentou crescimento a partir dessa mesma concentração. Esses achados indicam uma maior eficácia do extrato contra bactérias Gram-positivas, como *S. aureus*, em comparação com as Gram-negativas, como *E. coli*. Essa diferença de sensibilidade pode ser atribuída à estrutura celular mais simples das bactérias Gram-positivas, que não possuem a membrana externa rica em lipopolissacarídeos que caracteriza as Gram-negativas, conferindo a estas últimas uma resistência maior a agentes antimicrobianos (ROCHA, 2019; SILVA, 2014).

Estudos em projetos anteriores, que investigaram a atividade antimicrobiana de extratos de acerola, corroboram esses achados, apontando uma maior sensibilidade de *S. aureus* ao extrato em comparação com *E. coli*, que requer concentrações mais elevadas para alcançar a inibição do crescimento (ROCHA, 2019; SILVA, 2014). Essa diferença de resposta entre os tipos de bactérias sugere que a concentração de compostos bioativos presentes no resíduo liofilizado de acerola potencializa a ação antimicrobiana, especialmente em relação às bactérias Gram-positivas. Esses resultados reforçam a aplicabilidade do resíduo de acerola como um conservante natural, oferecendo uma alternativa viável e sustentável para a indústria alimentícia e outras áreas que buscam soluções antimicrobianas.

Além disso, a literatura científica indica que os compostos fenólicos presentes na acerola, como ácido ascórbico, flavonoides e outros antioxidantes, podem desempenhar

um papel crucial na atividade antimicrobiana observada (OLIVEIRA, 2014; OLIVEIRA et al., 2007; BROINIZI et al., 2007; SOUSA et al., 2011). Esses compostos são conhecidos por suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, além de sua capacidade de inibir o crescimento de microrganismos patogênicos. A pesquisa sugere que o extrato de acerola não apenas possui potencial como conservante natural, mas também pode ser explorado no desenvolvimento de produtos antimicrobianos que atendam à crescente demanda por alternativas naturais e seguras.

A utilização de subprodutos da acerola, como o resíduo de polpa, para a produção de extratos com propriedades funcionais não apenas contribui para a redução do desperdício, mas também promove a sustentabilidade na indústria (ROCHA, 2019; SILVA, 2014). A valorização desses resíduos pode resultar em produtos que não apenas atendem às necessidades do mercado, mas também oferecem benefícios à saúde pública, ao reduzir a dependência de conservantes sintéticos e antibióticos.

A pesquisa também destaca a importância de continuar investigando as propriedades antimicrobianas dos extratos de acerola, bem como a identificação e caracterização dos compostos bioativos responsáveis por essa atividade (OLIVEIRA, 2014; OLIVEIRA et al., 2007). Estudos futuros podem explorar diferentes métodos de extração, variações nas condições de processamento e a interação dos extratos com outros ingredientes, visando otimizar a eficácia antimicrobiana e ampliar as aplicações do extrato de acerola em diversas indústrias.

Em suma, os resultados obtidos neste estudo não apenas confirmam a eficácia do extrato de resíduo de polpa de acerola contra *S. aureus* e *E. coli*, mas também abrem novas perspectivas para a utilização deste subproduto como um agente antimicrobiano natural. A pesquisa contribui para a valorização dos resíduos agroindustriais e para a promoção de práticas mais sustentáveis, alinhando-se às tendências atuais de consumo consciente e à busca por produtos que respeitem a saúde do consumidor e do meio ambiente. A acerola, com suas propriedades funcionais, pode se tornar um importante aliado na formulação de produtos que atendam às exigências do mercado, promovendo a saúde pública e a preservação do meio ambiente.

Conclusão

A pesquisa revelou resultados promissores, evidenciando atividade antibacteriana significativa contra *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. A eficácia do extrato foi maior contra a bactéria Gram-positiva *S. aureus*, com inibição observada até 75 mg/mL. Já *E. coli* apresentou maior resistência em concentrações baixas, o que sugere diferenças de sensibilidade entre bactérias, possivelmente devido à estrutura celular mais complexa das Gram-negativas (ROCHA, 2019; SILVA, 2014).

Os resultados destacam a importância da liofilização, que reduz a atividade de água e concentra os compostos bioativos do resíduo da acerola, potencializando sua ação antimicrobiana. Essa abordagem torna o extrato uma alternativa viável para o controle de microrganismos patogênicos (OLIVEIRA, 2014; OLIVEIRA et al., 2007). O

aproveitamento do resíduo contribui para a redução de rejeitos agroindustriais e representa uma estratégia sustentável, com aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética (BROINIZI et al., 2007; SOUSA et al., 2011).

O uso de extratos naturais, como o de acerola, atende à demanda por produtos que respeitam a saúde do consumidor e o meio ambiente. O estudo sugere que o extrato pode atuar como agente antimicrobiano natural, oferecendo alternativa aos conservantes sintéticos e antibióticos, que podem causar efeitos adversos e resistência bacteriana (SILVA, 2014).

Os achados indicam a viabilidade do uso do extrato em alimentos, medicamentos e cosméticos, onde segurança e eficácia são essenciais. Contudo, estudos adicionais são recomendados para avaliar sua eficácia em diferentes formulações, além de investigar estabilidade e interações com outros ingredientes (OLIVEIRA, 2014; OLIVEIRA et al., 2007).

Em conclusão, o extrato de resíduo de polpa de acerola apresenta grande potencial como conservante natural e agente antimicrobiano, valorizando resíduos agroindustriais e promovendo práticas sustentáveis (ROCHA, 2019; SILVA, 2014). A continuidade das pesquisas pode abrir caminho para o desenvolvimento de produtos inovadores que atendam às exigências do mercado, promovendo saúde pública e preservação ambiental. A acerola, com suas propriedades funcionais, pode se tornar importante aliada na formulação de produtos que conciliam necessidades do consumidor, consumo consciente e responsabilidade social (SOUSA et al., 2011).

Referências

- ALMEIDA, J. S.; SANTOS NETO, L. D.; PAIVA K. S. L.; ZAIDEN, R. T. ; SILVEIRA NETO, O. J.; BUENO, C. P. Use of by-products of fruit in animal feed. Revista Eletrônica Nutritime. Art. 248. V. 11. N.03. p. 3430 -3443, 2014.
- ARRAIS, L.G. Estudo fitoquímico e avaliação da atividade antimicrobiana e farmacológica de Croton pulegioides Baill (Euphorbiaceae). Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Ciências Biológicas. 109 páginas. Pós-graduação em Biotecnologia industrial, 2012.
- BERNARDI, Natália de Oliveira.; MEURER, Marisa.; ARANTES, Vinícius Pereira Arantes. Estudo da atividade antibacteriana de extratos vegetais de Azadirachta indica “Neem” frente a cepa padrão de Streptococcus pyogenes atcc 19615. Arq. Ciênc. Saúde UNIPAR, Umuarama, v. 16, n. 3, p. 117-122, set./dez. 2012.
- BROINIZI, P .R.B. et al. Avaliação da atividade antioxidante dos compostos fenólicos naturalmente presentes em subprodutos do pseudofruto de caju (Anacardium occidentale L.). Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 27, n.4, p. 902-908, 2007.

DELVA, L.; GOODRICH-SCHNEIDER, R. Antioxidant activity and antimicrobial properties of phenolic extracts from acerola (*Malpighia emarginata* DC) fruit. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(5), p. 1048–1056, 2013. Disponível em: . Acesso em agosto. 2024.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. *Visão Acadêmica*, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.

FERRUZ et al. Inhibition of *Fusarium* Growth and Mycotoxin Production in Culture Medium and in Maize Kernels by Natural Phenolic Acid. *Journal of Food Protection*, v. 79, n. 10, p. 1753–1758, 2016.

FURLANETO, F . P . B; NASSER, M. D. Panorama da cultura da acerola no estado de São Paulo. *Pesquisa & Tecnologia*. Vol. 12, n. 1, 2015.

HOSKIM, Roberta Targino; et al. Blueberry Polyphenol-Protein Food Ingredients: The Impact of Spray Drying on the in Vitro Antioxidant Activity, Anti-Inflammatory Markers, Glucose Metabolism and Fibroblast Migration. *Food Chemistry*, v.280, p. 187-194, 2019.

KUSKOSKI, E.M. et al., Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 25, n.4, p. 726-732, 2005.

LEAL, Jennifer Dayannie Santos; MOISÉS, Gabrielly Martins; SILVA, Ana Beatriz Pina da Silva; TELES, Emilly Benicio. Avaliação da substituição de benzoato de sódio por extrato de camomila na conservação do suco de goiaba, 2023. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em química) - Escola Técnica Estadual ETEC Irmã Agostina (Jardim Satélite - São Paulo), São Paulo, 2023.

MAIA, Geraldo Arraes; SOUSA, Paulo Henrique Machado de; SANTOS, Gerusa Matias dos; et al. Efeito do processamento sobre componentes do suco de acerola. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, v. 27, n. 1, p. 130–134, 2007.

MARTINS, Thielly Ribeiro. ANÁLISE DO TEOR DE COMPOSTOS BIOATIVOS DO CAPIM SANTO (*Cymbopogon citratus*) IN NATURA E SOB EXTRATO DE INFUSÃO. 2023. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Nutrição, A Universidade Federal do Pará, Belém, 2023.

NAYAK, A.; BHUSHAN, Brij; ROSALES, A.; et al. Valorisation potential of Cabernet grape pomace for the recovery of polyphenols: Process intensification, optimisation and study of kinetics. *Food and Bioproducts Processing*, v. 109, p. 74–85, 2018.

National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS). Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests; Approved Standard - 11th Ed. CLSI. Wayne, p. 76. (2162-2914), 2012.

OLIVEIRA, L. M. N. Quantificação de rutina, atividades antioxidante e antimicrobiana de extratos de polpas e subprodutos de frutas tropicais. 2014.

OLIVEIRA, M.S. et al., Atividade antioxidante e antifúngica de extratos vegetais. Alim. Nutr., Araraquara, v.18, n.3, p. 267-275, jul./set. 2007.

OLIVEIRA, M.S; FURLONG, E.B. Screening of antifungal and antimycotoxigenic activity of plant phenolic extracts. World Mycotoxin Journal, p.139-146, 2008.

ROCHA, Ana Júlia Almeida César. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIMICROBIANO DO EXTRATO DA ACEROLA. 2019. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SILVA, L.M.R. Compostos bioativos em polpas e subprodutos de frutas tropicais: quantificação, atividade antimicrobiana e encapsulamento. Tese (doutorado), Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2014.

SILVA, G. D. F .; LIMA, P . H. da S.; SILVA, A. R.; FREITAS, Érisson R. A.; SILVA, F . S. da; GONDIM, S. de L.; SILVA, A. B. de S.; REBOUÇAS, M. E. S.; SILVA, D. A. da SOUZA FILHO, J. O. A. . Evaluation of the antimicrobial activity of Malpighia emarginata extract against Escherichia coli and Staphylococcus aureus in vitro. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 3, p. e10411326291, 2022.

CÓDIGO: SB0910

AUTOR: AMANDA DIAS SILVA MACEDO

ORIENTADOR: MARCIA REGINA DA SILVA PEDRINI

TÍTULO: Enriquecimento da biomassa de levedura com compostos bioativos de resíduos de frutas tropicais

Resumo

O presente trabalho investigou a viabilidade do enriquecimento de biomassa de levedura com compostos bioativos provenientes de resíduos de jabuticaba, visando a valorização de subprodutos agroindustriais e a produção de ingredientes funcionais. O extrato de resíduos de jabuticaba foi obtido por extração assistida por ultrassom com agitação mecânica (EAU-AM) em diferentes tempos (20, 40, 60 e 80 min), sendo o extrato de 20 minutos selecionado para os ensaios de bioabsorção por apresentar eficiência semelhante ao de 60 minutos, com menor tempo de processamento. A bioabsorção dos compostos fenólicos pela biomassa de levedura foi avaliada em diferentes tempos de contato (5, 30 e 120 min), demonstrando retenção crescente de CFT, de 22% para 30,5% ao longo do período. Esses achados evidenciam o potencial da biomassa de levedura como carreador de compostos bioativos de resíduos de frutas tropicais, contribuindo para a agregação de valor e a sustentabilidade no setor alimentício.

Palavras-chave: Bioabsorção; Compostos fenólicos; Resíduos de frutas tropicais.

TITLE: Enrichment of yeast biomass with bioactive compounds from tropical fruit residues

Abstract

This study evaluated the feasibility of enriching yeast biomass with bioactive compounds derived from jabuticaba by-products, aiming to valorize agro-industrial residues and produce high-value functional ingredients. Jabuticaba residue extract was obtained using ultrasound-assisted extraction with mechanical agitation (EAU-AM) at different times (20, 40, 60, and 80 min), with the 20-minute extract selected for the bioabsorption assays due to its efficiency comparable to 60 min and shorter processing

time. Phenolic biosorption by yeast biomass was assessed at different contact times (5, 30, and 120 min), showing an increasing retention of TPC from 22% to 30.5% over time. These findings highlight the potential of yeast biomass as a carrier of bioactive compounds from tropical fruit residues, contributing to value addition and sustainability in the food industry.

Keywords: Biosorption; Phenolic compounds; Tropical fruit residues.

Introdução

A utilização de resíduos de frutas tropicais, como o bagaço, tem despertado interesse crescente devido ao potencial de aproveitamento presente nesses subprodutos. Esses resíduos são ricos em compostos fenólicos, os quais têm sido associados a diversas propriedades benéficas, como atividade antioxidante e potencial efeito anticancerígeno (Rubio et al., 2018). Estudos anteriores demonstraram que a biomassa de levedura é uma alternativa para absorção de compostos fenólicos de resíduos de frutas, aumentando sua bioacessibilidade e preservando suas propriedades antioxidantes ao longo do processo (De Andradre et al., 2024)

O bioenriquecimento da biomassa de levedura com compostos bioativos provenientes de resíduos de frutas tropicais apresenta potencial para a valorização desses subprodutos e para a produção de ingredientes funcionais de alto valor agregado (Rubio et al., 2018; Melo et al., 2015). Além disso, o aproveitamento de frutas tropicais contribui para a redução do desperdício alimentar e para a promoção da sustentabilidade na indústria de alimentos. A investigação dos mecanismos de biossorção desses compostos pela biomassa de levedura pode fornecer insights importantes para o desenvolvimento de estratégias de aproveitamento de resíduos de frutas tropicais (Abdoali et al., 2014; Melo et al., 2015).

Portanto, este trabalho propõe-se a explorar a viabilidade e a eficácia do enriquecimento da biomassa de levedura com compostos bioativos de resíduos de jabuticaba. O enriquecimento dessa biomassa permite o aproveitamento de subprodutos para a produção de ingredientes funcionais e contribui para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte de resíduos de frutas.

Metodologia

Obtenção do resíduo de jabuticaba

Os subprodutos foram obtidos da empresa Delícia da Fruta (Natal, RN, Brasil) no mês de Março de 2025. Após remoção manual das sementes, as cascas e a polpa residual foram secas em estufa com circulação de ar a 55 °C por 24 h, moídas e peneiradas em

malha de 300 mesh. O pó obtido (umidade: $11,08\% \pm 0,31$; atividade de água: $0,365 \pm 0,003$) foi armazenado congelado até as análises.

Elaboração do extrato

A extração foi realizada na proporção 1:10 (m/v), com 20 g de pó para 200 mL de água destilada, submetidos à EAU-AM em banho ultrassônico operando a 40 kHz e 100 W (ALTRONIC Clean 3IA, 3 L, São Paulo, Brasil) acoplado à agitação mecânica a 150 rpm (TE-139, Tecnal, Piracicaba, Brasil). A temperatura do banho foi ajustada previamente para 40 °C, correspondente à temperatura máxima observada nos testes preliminares. Amostras foram coletadas aos 20, 40, 60 e 80 minutos de extração, centrifugadas a 4500 rpm durante 15 minutos, e armazenadas sob refrigeração para as análises subsequentes.

Preparação da Biomassa

A levedura residual de cervejaria foi fornecida pela Cervejaria Oktos (Natal, RN). O material foi lavado com água destilada até a completa remoção dos resíduos de cerveja. A biomassa foi separada da água de lavagem por decantação, congelada -80 °C por 24 horas, e em seguida, liofilizadas (Terroni, Série Enterprise, Brasil) a -57 °C e a pressão de vácuo < 20 µm Hg, durante 24 horas.

Estudos de Bioadsorção de Compostos Fenólicos

A bioadsorção de compostos fenólicos do extrato de resíduo de jabuticaba pela biomassa de levedura foi investigada em experimentos em batelada. Para isso, 0,05 g de bioadsorvente foram misturados com 12,5 mL de extrato de resíduo de jabuticaba e mantidos sob tempos de contato de 5, 30 e 120 minutos. O ensaio foi conduzido de acordo com Maciel et al. (2013), em incubadora com agitação (TE-422, Tecnal, SC, Brasil), a 20 °C e 200 rpm. Ao final de cada tempo, as amostras foram imediatamente centrifugadas a 4500 rpm por 25 minutos, sendo o sobrenadante utilizado para a quantificação dos compostos fenólicos totais (CFT). Para controle, foi preparado um extrato sem adição de bioadsorvente, submetido às mesmas condições experimentais, a fim de verificar possíveis perdas não relacionadas à bioadsorção. As amostras foram codificadas como BEJ5, BEJ30 e BEJ120, correspondendo ao extrato de jabuticaba em contato com biomassa de levedura por 5, 30 e 120 minutos, respectivamente; E0, referente ao extrato bruto coletado antes do início do ensaio; e E120, referente ao extrato bruto mantido nas mesmas condições experimentais, porém sem adição de bioadsorvente, e coletado após 120 minutos. O percentual de retenção de compostos fenólicos totais (CFT) pelas células de levedura foi calculado com base na diferença entre o teor de fenólicos do extrato puro e o teor medido nas amostras após o ensaio de bioadsorção, conforme a equação 1:

$$\% \text{ Retenção} = [(\text{CFT do extrato puro} - \text{CFT da amostra}) / \text{CFT do extrato puro}] \times 100 \quad (1)$$

Determinação do Conteúdo Fenólicos Totais (CFT)

Os compostos fenólicos totais em amostras foram avaliados conforme descrito por Singleton et al. (1999). Para análise, 25 μ L da amostra filtrada (0,45 μ m, Sartorius Stedim) foram misturados com 50 μ L de água destilada, 25 μ L de reagente de Folin-Ciocalteu (diluído 1:1) e 100 μ L de uma solução de bicarbonato de sódio a 7,5% (p/v) em uma microplaca de 96 poços. A mistura foi incubada por 90 minutos à temperatura ambiente no escuro, e a absorbância foi registrada a 765 nm usando um leitor de microplacas UVM 340 (Biochrom, Cambridge, Inglaterra). Uma curva padrão foi preparada com as concentrações de ácido gálico e os resultados foram expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico por grama de amostra (mg GAE/g).

Análise estatística

As análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software Statistica 12.5 (StatSoft Inc., EUA). Os resultados foram apresentados com o desvio padrão (DP) de três réplicas independentes. Diferenças significativas foram avaliadas usando o ANOVA, a um nível de significância de 5% ($p > 0,05$).

Resultados e Discussões

Teor de Fenólicos Totais do Extrato de Jabuticaba

O teor de compostos fenólicos totais obtidos coletados nos pontos 20, 40, 60 e 80 minutos da extração estão apresentados na Tabela 1. Embora o maior TPC tenha sido observado aos 60 min, não houve diferença significativa entre 20 e 60 min ($p = 0,546$), indicando que tempos mais curtos são igualmente eficientes. Tempos superiores a 60 min reduziram o TPC, possivelmente por degradação térmica ou oxidação. Assim, a EAU-AM por 20 minutos foi a condição mais eficiente para a extração de fenólicos.

Tabela 1 - Teor de Fenólicos Totais do extrato de resíduo de jabuticaba coletados ao longo da extração assistida por ultrassom com agitação mecânica.

Legenda: EJ20 (Extrato de resíduo de jabuticaba no tempo 20 minutos de extração); EJ40 (Extrato de resíduo de jabuticaba no tempo 40 minutos de extração); EJ60 (Extrato de resíduo de jabuticaba no tempo 60 minutos); EJ80 (Extrato do resíduo de jabuticaba no tempo 80 minutos).

Biossorção de Compostos Fenólicos

Conforme observado na Tabela 2, os ensaios de biossorção demonstraram que a capacidade de retenção de compostos fenólicos totais (CFT) pela biomassa de levedura aumentou significativamente com o tempo de contato, passando de 22% em 5 minutos para 30,5% após 120 minutos. Esse incremento progressivo sugere que o processo de biossorção é dependente do tempo e que a biomassa necessita de um período mais prolongado para atingir uma saturação mais eficiente dos sítios de ligação. Esses resultados estão de acordo com o encontrado por Singh et al. 2020, que também

demonstrou aumento ao longo do tempo da bioadsorção de compostos fenólicos do bagaço de uva em células de levedura. Além disso, a ausência de diferença significativa entre os tempos de 5 e 30 minutos indica que a captação inicial é rápida, possivelmente ocorrendo na superfície celular, enquanto o aumento observado em 120 minutos pode refletir uma internalização ou ligação mais estável aos componentes intracelulares.

Tabela 2 - Percentual de retenção de compostos fenólicos pela biomassa de levedura em diferentes tempos de bioadsorção.

Legenda: BEJ5 (Extrato de jabuticaba em contato com biomassa de levedura por 5 minutos); BEJ 30 (Extrato de jabuticaba em contato com biomassa de levedura por 30 minutos); BEJ120 (Extrato de jabuticaba em contato com biomassa de levedura por 120 minutos).

Conclusão

O estudo demonstrou que o extrato de resíduos de jabuticaba obtido em 20 minutos de extração apresentou $23,59 \pm 1,69$ mg EAG/g de fenólicos totais, valor semelhante ao de 60 minutos. Nos ensaios de bioadsorção, a biomassa de levedura apresentou aumento significativo na retenção de fenólicos, passando de $22 \pm 4,1\%$ em 5 min para $30,5 \pm 3,9\%$ em 120 min. Esses resultados confirmam o potencial da biomassa como carreador de compostos bioativos, agregando valor a resíduos de frutas e promovendo alternativas sustentáveis para a indústria de alimentos.

Referências

ABDOLALI, A.; GUO, W. S.; NGO, H. H.; CHEN, S. S.; NGUYEN, N. C.; TUNG, K. L. Typical lignocellulosic wastes and by-products for water and wastewater treatment: a critical review. *Bioresource Technology*, v. 160, p. 57–66, 2014. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.01.071.

ANBIA, M.; AMIRMAHMOODI, S. Adsorption of phenolic compounds from aqueous solutions using functionalized SBA-15 as a nano-sorbent. *Scientia Iranica*, v. 18, n. 3, p. 446-452, 2011.

DE ANDRADE, E.W.V., HOSKIN, R.T., DUPONT, S., BENEY, L., CAON, T., PEDRINI, M.R.S. Sonoprocessing coupled to spray drying as a novel strategy to encapsulate bioactive compounds from acerola pomace extract into *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Syst Microbiol and Biomanuf* 4, 1206–1216 (2024).
<https://doi.org/10.1007/s43393-024-00248-w>

MATHIALAGAN, T.; VIRARAGHAVAN, T. Biosorption of pentachlorophenol from aqueous solutions by a fungal biomass. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 2, p. 549–558, 2009. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.06.054.

MELO, P. S.; MASSARIOLI, A. P.; DENNY, C.; SANTOS, L. F. dos; FRANCHIN, M.; PEREIRA, G. E.; ALENCAR, S. M. de. Winery by-products: phenolic composition and cytotoxic evaluation to act as a new source of scavenging of reactive oxygen species. *Food Chemistry*, v. 181, p. 160–169, 2015. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.047.

PERTUZATTI, P. B.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GODOY, H. T.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Phenolic composition of grape and winemaking by-products from Brazilian hybrid cultivars BRS Violeta and BRS Lorena. *Food Chemistry*, v. 159, p. 95–105, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.02.164.

RUBIO, F. T. V.; MACIEL, G. M.; SILVA, M. V. da; CORRÊA, V. G.; PERALTA, R. M.; HAMINIUK, C. W. I. Enrichment of waste yeast with bioactive compounds from grape pomace as an innovative and emerging technology: kinetics, isotherms and bioaccessibility. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 45, p. 1–9, 2018. DOI: 10.1016/j.ifset.2017.10.015.

SINGH, A.; SAINI, P. Biosorption: a novel biotechnological application for removal of hazardous pollutants. In: *INNOVATIONS in food technology: current perspectives and future goals*. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 341–360. DOI: 10.1007/978-981-15-3514-1_13.

Anexos



Percentual de retenção de compostos fenólicos pela biomassa de levedura em diferentes tempos de bio sorção.



Teor de Fenólicos Totais do extrato de resíduo de jabuticaba coletados ao longo da extração assistida por ultrassom com agitação mecânica.

CÓDIGO: SB0972

AUTOR: ESTER DE MEDEIROS ROCHA

COAUTOR: ALESSANDRA DANIELE DA SILVA

COAUTOR: SARAH DE SOUSA FERREIRA

COAUTOR: GUNTHINEIA ALVES DE LIRA

COAUTOR: BEATRIZ KETLYN DA CUNHA BATISTA

ORIENTADOR: MATHEUS DE FREITAS FERNANDES PEDROSA

TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO DA APITOXINA: ENSAIOS ENZIMÁTICOS E ATIVIDADE HEMOLÍTICA

Resumo

A abelha *Apis mellifera* produz a apitoxina, uma peçonha de grande interesse clínico devido às suas diversas atividades farmacológicas, atribuídas a enzimas como proteases, hialuronidases e fosfolipases. Este estudo caracterizou *in vitro* o perfil enzimático e hemolítico da apitoxina. Foram realizados ensaios de atividade proteolítica, fosfolipásica e hialuronidásica, além de teste de hemólise com eritrócitos humanos (aprovado pelo Comitê de Ética, CAAE 06999519.3.0000.5292). Os resultados revelaram baixa atividade proteolítica ($5,4 \pm 0,4$ U/mL em 10 μ g), sem relação dose-dependente. A atividade fosfolipásica foi de $49,3 \pm 1,35\%$ (10 μ g), também não dose-dependente. A atividade hialuronidásica foi a mais proeminente, atingindo 100% a partir de 20 μ g, indicando alta concentração desta enzima, responsável pela espalhabilidade da peçonha. A fosfolipase A2 (PLA2), um dos principais componentes imunogênicos, atua sinergicamente com a melitina para danificar membranas e desencadear inflamação. O ensaio hemolítico confirmou alto potencial citotóxico, com hemólise superior a 80% nas concentrações entre 250 e 31,2 μ g/mL. Conclui-se que a apitoxina possui alta atividade hialuronidásica e fosfolipásica, mas baixa atividade proteolítica. Seu elevado potencial hemolítico reforça a necessidade de estratégias para minimizar efeitos adversos, como o uso de nanopartículas de quitosana para liberação direcionada, aumentando a segurança e eficácia de sua aplicação terapêutica.

Palavras-chave: Apitoxina. Atividades enzimáticas. Atividade hemolítica. Nanopartícula

TITLE: CHARACTERIZATION OF APITOXIN: ENZYMATIC ASSESSMENTS AND HEMOLYTIC ACTIVITY

Abstract

The honeybee *Apis mellifera* produces apitoxin, a venom of great clinical interest due to its diverse pharmacological activities, attributed to enzymes such as proteases, hyaluronidases, and phospholipases. This study characterized the enzymatic and hemolytic profile of apitoxin in vitro. Proteolytic, phospholipase, and hyaluronidase activity assays were performed, as well as a hemolysis test with human erythrocytes (approved by the Ethics Committee, CAAE 06999519.3.0000.5292). The results revealed low proteolytic activity (5.4 ± 0.4 U/mL at 10 μ g), with no dose-dependent relationship. Phospholipase activity was $49.3 \pm 1.35\%$ (10 μ g), also not dose dependent. Hyaluronidase activity was the most prominent, reaching 100% from 20 μ g, indicating a high concentration of this enzyme, responsible for the spreadability of the venom. Phospholipase A2 (PLA2), one of the main immunogenic components, acts synergistically with melittin to damage membranes and trigger inflammation. The hemolytic assay confirmed high cytotoxic potential, with hemolysis greater than 80% at concentrations between 250 and 31.2 μ g/mL. It is concluded that apitoxin has high hyaluronidase and phospholipase activity but low proteolytic activity. Its high hemolytic potential reinforces the need for strategies to minimize adverse effects, such as the use of chitosan nanoparticles for targeted delivery, increasing the safety and efficacy of its therapeutic application.

Keywords: Apitoxin. Enzymatic Activities. Hemolytic activity. Nanoparticles.

Introdução

A *Apis mellifera* pertence à ordem Hymenoptera, e sua peçonha tem sido utilizada cada vez mais para fins medicinais. Estudos têm demonstrado que essa peçonha apresenta diversas atividades farmacológicas relevantes, como ação antimicrobiana in vitro, antitumoral e antiviral in vitro e in vivo, antifúngica, citotóxica, atribuídas à sua composição rica em enzimas, proteínas, aminoácidos e aminas (Carpena et al., 2020; FangZhang et al., 2017). De acordo com dados do Ministério da Saúde, as abelhas ocupam o terceiro lugar entre os animais peçonhentos que mais causam mortes de humanos no Brasil. Em 2023, houve mais de 340 mil notificações de acidentes envolvendo esses animais, resultando em 451 óbitos. No período de 2019 a 2023, os principais responsáveis por óbitos foram, respectivamente: serpentes, escorpiões e abelhas. Esse aumento é impulsionado pela expansão de espécies adaptadas ao ambiente urbano, o avanço desordenado das cidades e as mudanças climáticas. Estas últimas, sob a perspectiva do conceito "Uma Só Saúde", alteram a distribuição das abelhas, que buscam alimento em áreas urbanas e ampliam o risco de acidentes (Ministério da Saúde, 2024). A composição da peçonha, no entanto, pode variar de acordo com fatores como origem geográfica, variação sazonal e dieta. Somado a isto, é evidente o crescente número de casos com animais peçonhentos mundialmente, sobretudo no Brasil. Apesar de se tratar de uma espécie altamente defensiva, isso facilita a coleta de peçonha, além dela ser uma das eficientes produtoras de mel e própolis (Blema, et al, 2025; Ministério

da Agricultura e Agropecuária, 2023). O envenenamento causado por múltiplas picadas de abelhas africanizadas (*Apis mellifera*) é um problema que vem sendo cada vez mais recorrente no Brasil. Os protocolos atuais para envenenamento por picada de abelha concentram-se em analgesia e no tratamento de reações alérgicas agudas, como a anafilaxia. Contudo, faltam diretrizes para complicações graves, como insuficiência renal, lesões cardíacas e hemólise, o que deixa lacunas no manejo de casos severos. Somado a isto, há ausência de um soro antiapilíco específico, dificultando a neutralização rápida das toxinas. Outrossim, a falta de padronização e segurança na produção de formas farmacêuticas à base de apitoxina compromete seu uso terapêutico e aumenta os riscos de efeitos adversos (Cavalcante, 2024). Estudos têm evidenciado inúmeros benefícios em aplicações terapêuticas da apitoxina, no entanto, um dos desafios são seus inúmeros efeitos adversos, devido algumas substâncias presentes em sua composição, como algumas enzimas, peptídeos e aminas, responsáveis por inúmeras reações alérgicas, inflamação, dores. Devido a isso, a associação com nanopartículas é uma excelente solução (Delgado, 2023). Além disso, estudos extensivos têm sido evidenciados sobre a apitoxina e seus constituintes, como a melitina, como potenciais agentes terapêuticos e inibidores para vários tipos de tumores. Essas investigações revelaram múltiplos mecanismos moleculares por meio dos quais a peçonha e seus componentes exibem potenciais propriedades anticancerígenas e agentes citotóxicos com um amplo espectro de atividade contra diferentes tipos de células tumorais (Orsilic, 2012). A exploração terapêutica da peçonha depende fundamentalmente de duas etapas cruciais: primeiro, a completa caracterização de sua composição variável é essencial para identificar seus princípios ativos. Em seguida, a nanoencapsulação com a quitosana surge como solução indispensável para contornar a variabilidade e a toxicidade da peçonha, permitindo uma liberação controlada e segura dos compostos bioativos. (Jahdavi, et al, 2025; Sharaf, et al, 2024). O objetivo deste estudo foi caracterizar a apitoxina *in vitro*, avaliando seu conteúdo enzimático e perfil hemolítico. Para isso, foram conduzidos ensaios de atividade proteolítica, fosfolipásica e hialuronidásica, utilizando como substratos azocaseína, gema de ovo e ácido hialurônico, respecti

Metodologia

O procedimento a seguir descreve a preparação da amostra de apitoxina, que foi utilizada nos testes de atividades enzimáticas. A amostra de apitoxina coletada foi retirada do freezer (-20 °C). Sua massa foi quantificada em uma balança analítica, em seguida, foram preparadas amostras de 1 mg/mL e de apitoxina em água miliq e foi acondicionada em freezer. Os ensaios foram realizados com as concentrações crescentes da peçonha de 10, 20, 30, 40 e 50 µg/mL (Silva, 2025). A atividade fosfolipásica foi realizada em triplicata, avaliando o efeito da apitoxina em concentrações de 10 a 50 µg/mL. Inicialmente, uma suspensão de gema de ovo foi preparada na proporção de 1:3 em tampão fosfato-salino (PBS), utilizando 3 mL de gema para 9 mL de PBS. Em seguida, foi selecionada a solução substrato a 15% de suspensão de gema de ovo. A amostra de suspensão de gema de ovo a 15% foi incubada com concentrações crescentes de apitoxina. Para simular as condições fisiológicas, a reação foi incubada em banho-maria a 37°C por 1 hora. A leitura dos resultados foi realizada por ensaio imunoenzimático (ELISA) a 925 nanômetros (Liu, et al, 2015; Marinetti, et al, 1965). Para o estudo da atividade proteolítica da apitoxina foi utilizada a azocaseína como substrato. Inicialmente, foram preparadas em tubos Eppendorf soluções com

concentrações crescentes de apitoxina, variando de 10 a 50 μL , em PBS, para um volume final de 100 μL . Um controle contendo apenas PBS também foi incluído. As amostras foram pré-incubadas em banho-maria a 37°C por 30 minutos. Em seguida, 100 μL de azocaseína a 1% foram adicionados aos tubos de teste. Para cada amostra, foi adicionado 100 μL de tampão Tris-HCl, e a reação foi incubada por 90 minutos em banho-maria. Para interromper a reação, 100 μL de ácido tricloroacético (TCA) foram adicionados a todos os tubos, que foram então colocados em repouso por 30 minutos na geladeira. A seguir, os tubos foram centrifugados a 1500 g ou 10 rpm por 5 minutos a 22°C. Após a centrifugação, 100 μL do sobrenadante de cada amostra foram transferidos para uma placa de 96 poços, aos quais foram adicionados 100 μL de NaOH. A placa foi deixada em repouso por 10 minutos, e a leitura da absorbância foi realizada em um leitor de ELISA a 440 nm. A absorbância média dos controles (brancos) foi subtraída da média de cada teste para correção. A atividade proteolítica foi calculada, e os resultados foram expressos em média e desvio padrão para cada concentração de apitoxina testada (Pereanez, et al, 2014). Com relação à concentração mínima hialuronidásica (CMH) foi determinada por meio de um ensaio de turbidimetria. As amostras foram preparadas em tubos Eppendorf, e a peçonha bruta (PB) foi diluída com água Milli-Q para um volume final de 80 μL (20 μL de PB + 60 μL de água), sendo pré-incubadas a 37 °C por 30 minutos. O controle foi preparado com 20 mL de PBS e 60 mL de água Milli-Q. Em um segundo momento, foi preparado um novo conjunto de amostras com concentrações crescentes de peçonha (10, 20, 30, 40 e 50 μL). Cada tubo continha 60 μL de solução de acetato, 10 μL de PBS, e a respectiva concentração de peçonha. Após o preparo, 80 μL de cada solução foram transferidos para poços de uma placa. Aos poços de teste foram adicionados 20 μL de ácido hialurônico, enquanto 20 μL de tampão fosfato e PBS foram adicionados aos poços de controle (branco). A placa foi incubada a 37 °C por 60 minutos em uma estufa, ao abrigo da luz. A reação foi interrompida com a adição de 200 μL de HTAB (brometo de hexadeciltrimetilamônio) a todos os poços. A leitura da absorbância foi realizada a 405 nm após 10 minutos de repouso (Cavalcanti, et al, 2015). A citotoxicidade da peçonha foi analisada por meio de ensaio hemolítico com eritrócitos humanos, obtidos de doadores saudáveis mediante aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (CAAE 06999519.3.0000.5292). Neste ensaio, foi coletado 2 tubos de sangue com EDTA, centrifugado a 1500 rpm por 10 min. O plasma foi descartado e a camada celular superior. Depois, foi lavada a camada interior de eritrócitos 3 vezes em PBS da seguinte maneira: Foi ressuspensionado os eritrócitos a 10% em PBS (em tubo falcon de 15mL). Foi homogeneizado levemente por inversão, centrifugado a 3000 rpm por 10 minutos. o Sobrenadante foi descartado e repetir o processo duas vezes (até sobrenadante ficar límpido após centrifugação). Após a última lavagem, os eritrócitos foram ressuspensionados a 10% em PBS, realizando assim uma suspensão de eritrócitos. Ensaio hemolítico: Em microtubos de 1,5 mL, misturar a amostra (dissolvida em PBS, em diferentes concentrações, no volume de 230 μL com suspensão de eritrócitos de 20 μL por inversão. A concentração final de eritrócitos no meio reacional $b = 0,8\%$. Foi expressada a concentração da amostra como concentração final no meio reacional final de 250 μL . Para o controle, foi misturado 230 μL de solução hipotônica (água purificada) com 20 μL de suspensão de eritrócitos. Como controle positivo de hemólise, foi misturado 230 μL de cada amostra (em cada concentração) com 20 μL de PBS. Em seguida, foi incubado a 37° C por 60 minutos. Depois, foi centrifugado a 1300 g por 3 minutos a temperatura ambiente. Depois foi lido 100 μL do sobrenadante em leitor de

microplacas a 540 nm. Cada amostra, preparou-se 3 testes e 3 brancos. A porcentagem de hemólise foi calculada (Gauthier, et al, 2009).

Resultados e Discussões

A identificação e quantificação das atividades biológicas presentes na peçonha são de suma importância, uma vez que elas podem exibir propriedades tanto tóxicas quanto benéficas, dependendo do contexto e da dosagem e estão representadas na Figura 1.

Na atividade fosfolipásica, o ensaio foi realizado utilizando as concentrações da peçonha de 10, 20, 30, 40 e 50 $\mu\text{g/mL}$ (Figura A). Obteve-se resultados satisfatórios, demonstrando uma atividade de $49,3 \pm 1,35\%$ e também não apresentou concentração dose-dependente (Figura 1A). Verifica-se forte relevância das fosfolipases no envenenamento. A fosfolipase A2 (PLA2), catalisa a hidrólise de fosfolipídios da membrana plasmática, além de desencadear respostas inflamatórias. Trata-se de um dos principais componentes imunogênicos da apitoxina, cuja toxicidade é potencializada por interação sinérgica com a melitina, o peptídeo majoritário da peçonha. A PLA2 em associação com a melitina pode danificar membranas biológicas e causar hemólise (Gealh, et al, 2024; Modanesi, et al, 2012).

Um estudo realizado por Blema, et al. (2025) a fim de verificar a ação da fosfolipase na peçonha bruta da *A. mellifera* por uma titulação potenciométrica, em triplicata, utilizando NaOH 1N, mostrou que a atividade fosfolipásica média para a peçonha de *A. mellifera* de 24,93 mEqde NaOH por mg de peçonha bruta, sendo evidente que há semelhança de resultados comparado ao estudo atual.

Apesar da fosfolipase A2 ser uma das substâncias em maior quantidade na peçonha, por volta de 12% em relação ao peso seco, possui uma atividade menor que a hialuronidase, onde esta última representa apenas de 1 a 3%. Isso pode ser explicado devido esta peçonha possuir algumas isoformas distintas dessa substância. Entre elas, existem as fosfolipases Ca^{+2} dependentes, que necessitam desse íon para sua atividade enzimática e as com potencial miotóxico que apresentam baixa atividade enzimática (Blema, et al, 2025; Orsolic, 2012).

Conforme a classificação das PLA2 dependentes de Ca^{+2} , a apitoxina apresenta um espectro potencial que inclui sPLA2 dos grupos I, II, III, V, IX, X, XI, XII, XIII e XIV. Entretanto, evidências bibliográficas demonstram que a sua composição é majoritariamente representada por fosfolipases A2 do grupo III. Portanto, conclui-se que, devido à predominância dessa fosfolipase, a sua atividade pode variar. Fatores como a presença de cálcio potencializam sua ação, e a existência de diversas isoformas – em quantidades variáveis e estados ativos ou inativos – influencia diretamente os resultados das atividades testadas in vitro, mesmo que ela seja o segundo principal componente da peçonha da abelha. (Lee et al, 2016; Blema, et al, 2025).

Com relação a atividade proteolítica (Figura 1B), os resultados demonstraram que a apitoxina apresenta baixa atividade proteolítica sobre a azocaseína, sem relação dose-dependente, registrando $5,4 \pm 0,4$ U/mL na concentração de 10 μg . Já a atividade

fosfolipásica, na mesma concentração, foi de $49,3 \pm 1,35\%$ e também não apresentou concentração dose-dependente. Em comparação com o estudo realizado por Yaacoub, (2022) foi verificado que mesmo utilizando metodologia distinta, o método de ágar-leite para o ensaio proteolítico, a conclusão foi a mesma, a peçonha apresenta uma concentração naturalmente muito baixa de proteases e peptidases.

A maior atividade observada foi a hialuronidásica, apresentando 100% nas concentrações de 20, 40 e 50 μg , mostrando que essa enzima pode estar presente em elevada concentração na peçonha (Figura 1C). Essa enzima é responsável pela hidrólise do ácido hialurônico e do sulfato de condroitina presentes no tecido conjuntivo e conferindo à peçonha a característica de espalhabilidade, que favorece a difusão dos demais componentes bioativos. Ela é caracterizada por ser o alergênico mais emergente entre os componentes do veneno de abelha.

A hialuronidase compõe de 1 a 3% da apitoxina e possui massa molar em torno de 45 kDa. Essa enzima tem um caráter alergênico, além de ser facilitadora da difusão de líquidos. Está associada à hipersensibilidade e a ocorrência de reação anafilática à picada de abelha. Ela ataca os polímeros de ácido hialurônico presente no tecido conjuntivo, catalisa a hidrólise de proteínas permitindo a diminuição da viscosidade do tecido e assim a penetração do veneno para o mesmo (Orsolic, 2012).

Com isso, pode-se inferir que a alta atividade da hialuronidase, mesmo em baixa concentração na peçonha, deve-se à sua excepcional eficiência catalítica e à natureza estratégica de sua função: atuar como uma "facilitadora" que potencializa a ação enzimática. Sua capacidade de degradar rapidamente polímeros de ácido hialurônico, diminuindo a viscosidade e facilitando a entrada de outras substâncias, justifica-se porque essas quantidades são suficientes para atingir atividade máxima em ensaios. Assim, a efetividade biológica do veneno depende menos da quantidade individual de cada enzima e mais da sinergia entre seus componentes, entre a fosfolipase A2 e melitina, por exemplo, e a ação da hialuronidase com sua ação efetiva na distribuição de toxinas (Pucca, et al, 2019).

O ensaio hemolítico foi realizado para avaliar a citotoxicidade da peçonha frente a eritrócitos humanos. O ensaio evidenciou que a apitoxina induziu hemólise significativa em todas as concentrações avaliadas (250, 125, 62,5, 31,2, 15,6 e 7,81 $\mu\text{g/mL}$), sendo superior a 80% entre 250 e 31,2 $\mu\text{g/mL}$ (Figura 1D). Demonstrando uma potente atividade hemolítica dose-dependente em nosso estudo. Foi observada uma curva de resposta característica, na qual o efeito hemolítico aumentou proporcionalmente à concentração do veneno, estabilizando-se em um platô de saturação a partir de 30 $\mu\text{g/mL}$.

Nossos resultados corroboram os achados de Frangieh (2019), utilizando a peçonha da *Apis mellifera syriaca*, demonstrou que há uma curva dose-resposta característica com o estabelecimento de um claro efeito platô na atividade hemolítica. Em nosso modelo experimental, utilizando a peçonha da *A. mellifera*, o platô foi consistentemente atingido a partir de 30 $\mu\text{g/mL}$. A ligeira variação na concentração de saturação, quando comparada à literatura, pode ser atribuída a diferenças na potência específica da peçonha utilizado e/ou nas condições experimentais, como o tipo de eritrócito e o

protocolo de incubação. Esta variação ressalta a importância de caracterizar a peçonha de acordo com sua origem específica para aplicações farmacológicas e toxicológicas.

Conclusão

Este estudo caracterizou com sucesso o perfil enzimático e o potente efeito hemolítico do veneno de *Apis mellifera*, confirmando sua alta atividade hialuronidásica e fosfolipásica, esta última potencializada pela ação sinérgica com a melitina. A baixa atividade proteolítica observada sugere um limitado teor de proteases na amostra analisada. O elevado potencial citotóxico, a dualidade inerente à apitoxina: um composto de grande valor biotecnológico, mas com significativos efeitos adversos que limitam sua aplicação terapêutica direta. Diante desse desafio, reforça-se a necessidade de estratégias farmacológicas adicionais para minimizar seus efeitos adversos, como o uso de nanopartículas de quitosana, um polissacarídeo biodegradável e biocompatível, como sistema de liberação direcionada, ampliando a segurança e eficácia da aplicação terapêutica da apitoxina e consolidando-a como uma promissora fonte para o desenvolvimento de novos fármacos. Este sistema de liberação controlada e direcionada tem o potencial de atenuar a toxicidade não específica da apitoxina, transformando um produto natural potente, mas perigoso, em uma terapia segura e eficaz. A nanotecnologia representa um avanço não apenas por abrir um caminho para o desenvolvimento de novos fármacos baseados em produtos naturais, mas também contribui para uma abordagem mais sustentável e tecnologicamente avançada na utilização de recursos da biodiversidade. Portanto, a integração da apitoxina com nanoestruturas posiciona-se na vanguarda da pesquisa que busca harmonizar inovação em saúde com a gestão responsável de recursos naturais, promovendo bem-estar e segurança no desenvolvimento de terapias futuras.

Referências

BLEMA, Matheus. Análise da composição da peçonha de *Apis mellifera* do Mato Grosso do Sul e os efeitos cinéticos da melitina na atividade da Na, K- ATPase. Mestre em Ciências, 2024. BORDON, K. al. Arthropod venom Hyaluronidases: biochemical properties and potential applications in medicine and biotechnology. DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals), 1 nov. 2015. Bordon, Karla. Caracterização funcional e estrutural da hialuronidase isolada da peçonha de serpente *Crotalus durissus terrificus*. Doutorado em Ciências. Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, São Paulo, 2012. CAMPOS, E. et al. Fracionamento de melitina a partir da apitoxina por ultrafiltração com escoamento tangencial. Mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. CARPENA, M. et al. Bee Venom: An Updating Review of Its Bioactive Molecules and Its Health Applications. *Nutrients*, v. 12, n. 11, p. 3360, 1 nov. 2020. CAVALCANTE, Joeliton S. et al. Clinical complications in envenoming by *Apis* honeybee stings: insights into mechanisms, diagnosis, and pharmacological interventions. *Frontiers in immunology*, v. 15, p. 1437413, 2024. D. Paixao-Cavalcante, ~ A.K. Kuniyoshi, F.C.V. Portaro, W.D. Silva, D.V. Tambourgi, African adders: partial characterization of snake venoms from

three *Bitis* species of medical importance and their neutralization by experimental equine antivenoms, *PLoS Negl. Trop. Dis.* 9 (2015) 1–19, <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003419>. FRANGIEH, J. et al. First Characterization of The Venom from *Apis mellifera syriaca*, A Honeybee from The Middle East Region. *Toxins*, v. 11, n. 4, p. 191, 30 mar. 2019. FRANGIEH, Jacinthe et al. First Characterization of The Venom from *Apis mellifera syriaca*, A Honeybee from The Middle East Region. *Toxins*, v. 11, n. 4, p. 191, 30 mar. 2019. G.V. Marinetti, The action of phospholipase A on lipoproteins, *Biochim. Biophys. Acta (BBA)/Lipids Lipid Metab.* 98 (1965) 554–565, [https://doi.org/10.1016/0005-2760\(65\)90152-9](https://doi.org/10.1016/0005-2760(65)90152-9). GAJSKI, G et al. Bee Venom: Composition and Anticancer Properties. *Toxins*, v. 16, n. 3, p. 117, 29 fev. 2024. GAJSKI, Goran. Bee Venom: Composition and Anticancer Properties. *Toxins*, v. 16, n. 3, p. 117, 29 fev. 2024. GAUTHIER, Charles et al. Haemolytic activity, cytotoxicity and membrane cell permeabilization of semi-synthetic and natural lupane- and oleanane-type saponins. *Bioorganic & medicinal chemistry*, v. 17, n. 5, p. 2002–2008, 2009. GEALH, G, et al. Avaliação da atividade antimicrobiana da apitoxina de *Apis mellifera* e das suas frações obtidas por salting out. Doutorado em Engenharia Química. Curitiba, 2024. J.A. Pereanez, A.C. Patino, V. Núñez, E. Osorio, The biflavonoid morelloflavone inhibits the enzymatic and biological activities of a snake venom phospholipase A2, *Chem. Biol. Interact.* 220 (2014) 94–101, <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.06.015>. JADHAV, Vikram et al. Bee venom loaded nanomaterials for cancer therapy: a novel approach. *Discover materials*, v. 5, n. 1, 2025. KLOTH, Marcela. Avaliação da viabilidade da extração de proteína a partir de subproduto agroindustrial. Mestrado em Biotecnologia - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, 2021. LEE, G.; BAE, H. Bee Venom Phospholipase A2: Yesterday's Enemy Becomes Today's Friend. *Toxins*, v. 8, n. 2, p. 48, 22 fev. 2016. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Manual de doenças das abelhas. Boas Práticas aplicadas à Prevenção, controle e erradicação de doenças das abelhas direcionado ao serviço veterinário oficial. Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/saude-animal-e-vegetal/saude-animal/programas-de-saude-animal/ManualdeDoencasdasAbelhaswebcomprimido.pdf#page=16.99>>. MODANESI, M. Produção de apitoxina por abelhas *Apis mellifera* L. e seu efeito na expressão de genes relacionados ao estresse. 2012. PÉREZ, Delgado. Antimicrobial Activity of *Apis mellifera* Bee Venom Collected in Northern Peru. v. 12, n. 4, p. 779–779, 19 abr. 2023. PUCCA, Manuela et al. Bee updated: Current knowledge on bee venom and bee envenoming therapy. *Frontiers in immunology*, v. 10, p. 2090, 2019. SHARAF, Mohamed et al. Bee chitosan nanoparticles loaded with apitoxin as a novel approach to eradication of common human bacterial, fungal pathogens and treating cancer. *Frontiers in microbiology*, v. 15, p. 1345478, 2024. SILVA, Thais. Avaliação in vitro de atividades biológicas da apitoxina coletada de *Apis mellifera* no agreste do RN. 2025. 28f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2025. Y. Liu, et al, High-resolution hyaluronidase inhibition profiling combined with HPLC–HRMS–SPE NMR for identification of anti-necrosis constituents in Chinese plants used to treat snakebite, *Phytochemistry* 119 (2015) 62–69, <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.09.0> ZHANG, S. Melittin exerts an antitumor effect on non-small cell lung cancer cells. *Molecular Medicine Reports*, v. 16, n. 3, p. 3581–3586, mar. 2017.

Anexos



Figura 1: Atividades fosfolipásica A), proteolítica B), hialuronidásica C) e perfil hemolítico D) da peçonha da *Apis mellifera*. Fonte: resultados experimentais.

CÓDIGO: SB0984

AUTOR: LUCAS EDUARDO SILVA DE ALMEIDA

ORIENTADOR: KATYA ANAYA JACINTO SCATTONE

TÍTULO: OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE EXTRATOS DE SEMENTE DE
MELÃO AMARELO (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin)

Resumo

O aumento da produção alimentar eleva as perdas e desperdícios, agravando impactos ambientais e a insegurança alimentar. O Aproveitamento Integral de Alimentos (AIA) e o reaproveitamento de subprodutos, como sementes de melão amarelo (*Cucumis melo* var. *inodorus*), surgem como estratégias para reduzir resíduos e agregar valor nutricional. Este trabalho teve como objetivo analisar a composição proteica de extratos aquosos de sementes de melão amarelo por diferentes técnicas, a fim de otimizar a extração, e posteriormente realizar a caracterização centesimal do extrato obtido pelo método mais eficiente. Foi avaliado a extração de proteínas em 12 extratos aquosos obtidos de sementes frescas e secas, íntegras e em farinha, submetidos a diferentes tempos de trituração (1, 3 e 5 minutos). Os resultados indicaram que a combinação de secagem e moagem (farinha de sementes secas) proporcionou os maiores teores proteicos, sugerindo que maior superfície de contato e menor umidade favorecem a extração desse macronutriente. Porém, em razão das análises estatísticas, verificou-se que a melhor forma de extrair proteínas das sementes foi com elas íntegras e secas e com o tempo de extração de 3 minutos, possuindo $1,6237\% \pm 0,0958$. Diante disso, conclui-se, portanto, que sementes de melão são matéria-prima promissora para extratos vegetais nutricionalmente relevantes, além de que seu consumo possui benefícios ambientais, pois ajuda a evitar o descarte das sementes de forma imprópria ao ambiente.

Palavras-chave: Aproveitamento Integral dos Alimentos. Composição Centesimal. Melões.

TITLE: OBTAINING AND CHARACTERIZATION OF YELLOW MELON SEED
EXTRACTS (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin)

Abstract

Increased food production increases losses and waste, worsening environmental impacts and food insecurity. Comprehensive Food Utilization (IFA) and the reuse of byproducts, such as yellow melon seeds (*Cucumis melo* var. *inodorus*), are emerging as strategies to reduce waste and add nutritional value. This study aimed to analyze the protein composition of aqueous extracts of yellow melon seeds using different techniques to optimize extraction and subsequently perform centesimal characterization of the extract obtained using the most efficient method. Protein extraction was evaluated in 12 aqueous extracts obtained from fresh and dried seeds, whole and in flour, subjected to different grinding times (1, 3, and 5 minutes). The results indicated that the combination of drying and grinding (dried seed flour) provided the highest protein contents, suggesting that greater surface area and lower moisture content favor the extraction of this macronutrient. However, based on statistical analysis, it was found that the best way to extract proteins from the seeds was with them intact and dry and with an extraction time of 3 minutes, having $1.6237\% \pm 0.0958$. Therefore, it is concluded that melon seeds are a promising raw material for nutritionally relevant plant extracts, in addition to the fact that their consumption has environmental benefits, as it helps to avoid the disposal of seeds in an inappropriate manner into the environment.

Keywords: Comprehensive Use of Food. Centesimal Composition. Melons.

Introdução

A produção mundial dos alimentos está crescendo cada vez mais ao longo dos anos, com o intuito de suprir as demandas do aumento populacional (FAO, 2023). De forma proporcional, as perdas e os desperdícios estão se elevando no decorrer da cadeia alimentar, culminando em impactos ambientais e sociais negativos, já que favorecem o aumento da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e a diminuição da disponibilidade de alimentos, essa que pode acentuar o quadro de Insegurança Alimentar e Nutricional (IAN) das populações vulneráveis (Skaf et al., 2021; FAO, 2013).

Nesse contexto, é notório que são desperdiçados não só alimentos íntegros, mas também seus subprodutos. No âmbito dos vegetais e frutas, estima-se que há perdas de cascas, caules, folhas e sementes, correspondendo a 42% do total produzido. Diante disso, é fundamental que estratégias baseadas em preceitos sustentáveis, éticos e sociais, sejam incrementadas por organizações competentes com o fito de reduzir tais perdas e desperdícios e proporcionar um sistema alimentar mais justo e com Segurança Alimentar e Nutricional (SAN) (Cantera et al., 2018; FAO, 2015).

O Aproveitamento Integral dos Alimentos (AIA) na fabricação e preparações culinárias, ou seja, a utilização por completo deles representa uma real possibilidade para contribuir no alcance da SAN. O Brasil representa um dos países com maior produção mundial de melão, sendo o estado do Rio Grande do Norte (RN) o predominante na análise de 2020 até 2022 (Maschio et al., 2023; ABRAFRUTAS, 2022). No entanto, as sementes das frutas não possuem, geralmente, o descarte correto ao ambiente, já que são

encaminhadas aos aterros sanitários e acabam culminando na formação de GEE (Ganesha; Sridhar; Vishali, 2022).

Nessa perspectiva, utilizar a AIA no uso de sementes de melão para criar preparações alimentícias e/ou bebidas apresenta potencial para ajudar no enfrentamento da IAN, tendo em vista que elas possuem consideráveis quantidades de nutrientes, a exemplo de lipídios, proteínas, cinzas, fibras, potássio, magnésio e cálcio. Posto isso, podem ser capazes de fortificar alimentos e/ou servir como base para a elaboração de extratos vegetais, esses que representam uma grande diversidade de extratos provenientes das partes dos vegetais, como polpas, nozes e sementes e que vêm ganhando um maior interesse a nível mundial como possibilidade de complementar a dieta das pessoas (Mallek-Ayadi; Bahloul; Kechaou, 2018).

Extratos vegetais elaborados com sementes de melão são capazes de proporcionar uma qualidade nutricional pertinente, já que possuem quantias de macro e micronutrientes consideráveis e percepções sensoriais satisfatórias (Karakaya et al., 1994; Bastioğlu et al., 2016). Além disso, como o melão amarelo (MA) (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin) é o mais produzido e comumente consumido no Brasil, a elaboração de extratos vegetais a partir de suas sementes seria uma maneira de reaproveitá-las para auxiliar a minimizar os problemas supracitados (Lana; Tavares, 2010).

Mediante o exposto, apesar de haver o crescente interesse nos estudos sobre as sementes do melão, a literatura ainda carece de análises de composição centesimal dos extratos vegetais do MA e de averiguações a respeito sobre a melhor forma de extração, isto é, a que consegue garantir um melhor aporte nutricional. Posto isso, o objetivo deste trabalho foi estudar a composição proteica de extratos aquosos de sementes de MA a partir de diferentes métodos extrativos, visando à otimização da extração proteica. Ademais, uma vez que encontrou-se a melhor maneira de extrair esse macronutriente, objetivou-se efetuar a composição centesimal completa do extrato triunfante.

Metodologia

O estudo representa uma pesquisa do tipo quantitativa e experimental que foi efetuada na Faculdade de Ciências da Saúde do Trairi/Universidade Federal do Rio Grande do Norte (FACISA/UFRN), nos laboratórios de Análise e Bioquímica de Alimentos, Microbiologia de Alimentos, Tecnologia dos Alimentos e Técnica Dietética. Ademais, determinadas análises foram realizadas em parceria com pesquisadores de outros centros organizacionais, somando esforços para o fortalecimento do recém-criado Grupo Interinstitucional de Pesquisa em Alimentos.

No que concerne à aquisição da matéria-prima, é válido ressaltar que os melões amarelos foram adquiridos em mercados locais do município de Santa Cruz-RN. Depois da obtenção das frutas, as sementes foram separadas e lavadas em água corrente, submergidas em solução de hipoclorito de sódio (2,5%) por 10 minutos, conforme recomendado na embalagem do produto, e logo após submetidas novamente à lavagem em água corrente para a retirada da solução clorada. Além disso, a umidade superficial

dessas sementes foi retirada com o uso de papel toalha e armazenadas em um recipiente de fechamento hermético, sendo destinadas ao congelamento até o momento de início das análises de composição centesimal ou levadas à elaboração da farinha úmida e/ou à estufa para realização da secagem, a fim de que fosse possível prosseguir com as etapas subsequentes. As cascas e polpas foram armazenadas em refrigeração para a utilização em outras atividades do laboratório. As sementes foram separadas em duas porções, sendo uma delas destinada para os testes com as sementes frescas e a outra para a secagem, a fim de obter as sementes secas.

Em relação à elaboração das farinhas, por sua vez, ela aconteceu de forma semelhante para as duas sementes. Quanto à farinha fresca, as sementes foram trituradas em liquidificador doméstico (em velocidade média) até a obtenção de uma farinha com a granulação mais fina possível. Para a seca, os mesmos procedimentos ocorreram, porém elas foram inicialmente levadas para a secagem em formas retangulares de teflon na estufa com ventilação forçada à 80°C por 2 horas. As farinhas foram armazenadas em recipientes hermeticamente fechados mantidas em refrigeração (farinha fresca) e temperatura ambiente (farinha seca) para depois terem sua composição centesimal efetuada.

No que diz respeito ao preparo dos extratos aquosos, eles foram elaborados tanto a partir das próprias sementes frescas e secas quanto de suas farinhas, como tentativa de analisar se existe uma extração mais potencializada do ponto de vista nutricional, ao se aumentar a superfície de contato e à concentração de sólidos totais. Para a obtenção desses extratos, as farinhas e as sementes foram misturadas com água potável na proporção de 1:6, conforme descrito por Akubor e Obasi (2019). Posteriormente, houve a trituração em liquidificador doméstico (em velocidade média) por 1, 3 e 5 minutos, das farinhas e das sementes íntegras (frescas e secas), havendo a necessidade de cada produto formado passar por um processo de filtragem em peneira doméstica.

Após a produção de 12 extratos (sendo 3 a partir das sementes frescas, 3 da farinha das sementes frescas, 3 das sementes secas e 3 a partir da farinha das sementes secas), eles se submeteram ao processo de liofilização, sendo armazenados sob congelamento em ultrafreezer (-80°C) para depois serem submetidas à análise da composição centesimal. Assim, foram obtidos os seguintes extratos: Extrato da Semente Fresca e Íntegra com 1 minuto de Extração (ESFI1), Extrato da Semente Fresca e Íntegra com 3 minutos de Extração (ESFI3), Extrato da Semente Fresca e Íntegra com 5 minutos de Extração (ESFI5), Extrato da Semente Fresca e Farinha com 1 minuto de Extração (ESFF1), Extrato da Semente Fresca e Farinha com 3 minutos de Extração (ESFF3), Extrato da Semente Fresca e Farinha com 5 minutos de Extração (ESFF5), Extrato da Semente Seca e Íntegra com 1 minuto de Extração (ESSI1), Extrato da Semente Seca e Íntegra com 3 minutos de Extração (ESSI3), Extrato da Semente Seca e Íntegra com 5 minutos de Extração (ESSI5), Extrato da Semente Seca e Farinha com 1 minuto de Extração (ESSF1), Extrato da Semente Seca e Farinha com 3 minutos de Extração (ESSF3) e Semente Seca e Farinha com 5 minutos de Extração (ESSF5).

No que tange ao processo de composição centesimal, serão feitos testes em triplicatas de todos os extratos, de acordo com métodos convencionados pela Association Of Official Analytical Chemists – AOAC (2023). Foi realizada a caracterização dos materiais quanto ao teor de proteína pelo método de Kjeldahl e, futuramente, serão efetuados os

testes de umidade (teste pela secagem direta em estufa a 105°C), cinzas (análise pelo aquecimento sob temperaturas entre 550° e 570°C), fibras (determinação de fibra bruta), lipídios (Soxhlet) e carboidratos (cálculo por diferença).

Resultados e Discussões

Quanto ao valor de proteínas dos extratos elaborados a partir de sementes frescas íntegras, foram encontrados os valores de $0,5914\% \pm 0,0627$, $0,8080\% \pm 0,0954$ e $0,8138\% \pm 0,0985$ de proteína para os tempos de 1, 3 e 5 minutos de extração respectivamente. Já para os extratos obtidos por meio das sementes frescas e farinha, encontrou-se $1,0456\% \pm 0,0404$, $1,0757\% \pm 0,0149$ e $1,1324\% \pm 0,1220$ para os tempos de 1, 3 e 5 minutos de extração respectivamente.

No que concerne aos extratos fabricados com a utilização de sementes secas e íntegras, houve os seguintes valores de proteínas de forma respectiva para os tempos de 1, 3 e 5 minutos de extração: $0,6783\% \pm 0,0594$, $1,6237\% \pm 0,0958$ e $1,5683\% \pm 0,1536$. Por fim, no que diz respeito aos extratos feitos com sementes secas e farinha, encontrou-se tais valores proteicos para os tempos de 1, 2 e 3 minutos de extração respectivamente: $1,2374\% \pm 0,0542$, $1,6595\% \pm 0,0380$ e $1,7044\% \pm 0,0529$. Ao averiguar tais dados, notou-se que dentre os extratos fabricados com as sementes frescas, houve diferença estatisticamente significativa entre a semente ter sido íntegra ou na forma de farinha em todos os três tempos de extração (1, 3 e 5 minutos), havendo maiores quantidades de proteína naquelas bebidas feitas com a farinha, já que os valores encontrados foram os seguintes: $ESFI1 = 0,5914\% \pm 0,0627$; $ESFF1 = 1,0456\% \pm 0,0404$; $ESFI3 = 0,8080\% \pm 0,0954$; $ESFF3 = 1,0757\% \pm 0,0149$; $ESFI5 = 0,8138\% \pm 0,0985$ e $ESFF5 = 1,1324\% \pm 0,1220$.

O mesmo não foi observado para os extratos elaborados com as sementes secas, pois só houve diferença estatisticamente significativa nos extratos submetidos ao tempo de 1 minuto, havendo valores muito próximos entre os extratos elaborados com sementes íntegras e farinha nos tempos de 3 e 5 minutos, apesar de todos os valores terem sido superiores nos extratos advindos da farinha ($ESSI1 = 0,6783\% \pm 0,0594$; $ESSF1 = 1,2374\% \pm 0,0542$; $ESSI3 = 1,6237\% \pm 0,0958$; $ESSF3 = 1,6595\% \pm 0,0380$; $ESSI5 = 1,5683\% \pm 0,1536$ e $ESSF5 = 1,7044\% \pm 0,0529$). Uma possível explicação para tais resultados é que, ao triturar ou moer sementes até obtenção de uma farinha eleva de forma significativa a superfície de contato do material, facilitando a interação com solventes ou reagentes durante a extração de proteínas. Isso possibilita uma remoção mais eficiente, já que as proteínas ficam mais acessíveis para serem solubilizadas e retiradas da matriz sólida (Liu; Xi, 2021; Reis et al. 2016)

Em oposição a tal fato, o estudo de Al-Saedi e colaboradores (2020), ao analisar proteínas no “leite de soja” (Glycine max) de sementes da cultivar Bunya por intermédio de métodos extrativos com gaze e centrífuga, perceberam que a bebida proveniente da semente inteira demonstrou maior teor de proteína do que a da semente partida tanto com a metodologia de separação com a gaze quanto pela centrifugação, havendo os seguintes valores: $2,03 \text{ g/100mL} \pm 0,15$ (Semente triturada e separada com

gaze), $2,60 \text{ g/100mL} \pm 0,10$ (Semente íntegra e separada com gaze), $2,56 \text{ g/100mL} \pm 1,00$ (Semente triturada e separada com centrífuga) e $2,97 \text{ g/100mL} \pm 0,05$ (Semente íntegra e separada com centrífuga).

Ao analisar as diferenças proteicas entre os extratos obtidos com sementes frescas e sementes secas, verificou-se que dentre os extratos de sementes íntegras, houve maiores valores de proteínas naqueles elaborados a partir das sementes secas, havendo diferenças estatisticamente significativas apenas nos tempos de 3 e 5 minutos (ESFI1= $0,5914\% \pm 0,0627$; ESSI1= $0,6783\% \pm 0,0594$; ESFI3= $0,8080\% \pm 0,0954$; ESSI3= $1,6237\% \pm 0,0958$; ESFI5= $0,8138\% \pm 0,0985$ e ESSI5= $1,5683\% \pm 0,1536$). Já no campo das farinhas, assim como no caso anterior, todos os valores proteicos dos extratos provenientes da semente seca foram superiores quando comparados aos da semente fresca, e nesse caso, todos os tempos mostraram diferença estatisticamente significativa (ESFF1= $1,0456\% \pm 0,0404$; ESFS1= $1,2374\% \pm 0,0542$; ESFF3= $1,0757\% \pm 0,0149$; ESFS3= $1,6595\% \pm 0,0380$; ESFF5= $1,1324\% \pm 0,1220$ e ESFS5= $1,7044\% \pm 0,0529$).

Araújo (2017), ao estudar o valor nutricional de leguminosas e comparar as sementes in natura (IN) e seca (SC) notou uma maior quantidade de proteínas na maioria das sementes secas das leguminosas averiguadas, dentre elas: Feijão-frade (*Vigna unguiculata*= IN: $24,24\text{g/100g} \pm 1,43$ e SC: $25,25\text{g/100g} \pm 0,99$), Fava (*Vicia faba*= IN: $7,17\text{g/100g} \pm 0,24$ e SC: $18,04\text{g/100g} \pm 1,17$). Isso demonstra o fato de a secagem normalmente aumentar o percentual aparente de proteína, já que a água é removida e ocorre a concentração de sólidos totais. Posto isso, levando-se em consideração as diferenças estatísticas elencadas, a combinação de variáveis que alcançou o maior teor de proteínas em extratos vegetais a partir das sementes do melão amarelo é por meio das sementes secas e íntegras por um período de homogeneização de 3 minutos com água.

Em relação à composição centesimal dos extratos obtidos das sementes de MA, não foi possível realizá-la, haja vista que houve um atraso burocrático no processo de licitação para a compra do óleo liofilizador. Isso fez com que atrasasse o processo de liofilização das amostras e a realização das análises. Todavia, espera-se encontrar um valor nutricional favorável, pois, na literatura, existem alguns achados referentes à composição nutricional de extratos vegetais advindos do melão.

No estudo de Apan e Zdrba (2018), a bebida fabricada a partir de sementes do melão amarelo, a qual é chamada Sübye, encontrou-se 85,9% de umidade, 0,2% de cinzas, 1,4% de proteína e 10,1% de carboidratos. Já no trabalho de Heydari e Jafarpour (2021), os extratos elaborados por intermédio das sementes de melão da variedade Khatouni.cv. Khatooni Cucumis melo (relacionado a campos agrícolas da província de Razavi Khorasan) apresentaram os seguintes resultados: umidade = 90,16%; lipídio = 2,38%; proteína = 1,3%; cinzas = 0,46%; carboidratos = 6,52% e fibras = 0,66%. No estudo de Akubor e Obasi (2019), por sua vez, na produção de bebidas de melão da variedade *Colocynthis citrullus* adquirida no Norte dos Estados Unidos (Idaho Township), achou-se a seguinte composição nutricional: umidade = 86,0%; lipídio = 4,0%; proteína = 3,0%; cinzas = 2,0%; carboidratos = 5,0% e fibras = 0,05%.

Conclusão

As sementes de melão amarelo apresentam potencial relevante para a fabricação de extratos vegetais, especialmente no que diz respeito ao conteúdo proteico. Ainda, verificou-se que o processo de trituração para a obtenção de farinhas favoreceu a extração de proteínas, especialmente quando comparado ao uso de sementes íntegras, tendo em vista que a superfície de contato se eleva, o que facilita a interação das sementes com solventes durante a extração proteica. Além disso, a secagem das sementes também contribuiu para concentrações maiores desse macronutriente, o que pode ser explicado pela redução da umidade e consequente concentração dos sólidos, apesar dessa relação não ser tão consistente na literatura.

Para mais, a comparação entre as distintas variáveis de extração demonstrou que tanto o estado físico da semente (íntegra ou farinha) quanto o teor de umidade (fresca ou seca) influenciam diretamente nos resultados obtidos. Diante disso, de modo geral, os extratos provenientes da farinha de sementes secas apresentaram os maiores teores proteicos, o que reforça a hipótese de que a combinação da secagem com a trituração maximiza a disponibilidade dos nutrientes. Ainda, é válido ressaltar que existem divergências quanto ao efeito da moagem sobre a extração proteica, sinalizando que fatores como espécie, composição da matriz vegetal e técnica empregada podem interferir nos resultados. Logo, investigações adicionais são necessárias para averiguar tais efeitos.

Referências

AL-SAEDI, N. et al. Study on Effect of Extraction Techniques and Seed Coat on Proteomic Distribution and Cheese Production from Soybean Milk. *Molecules*, [S.l.], v. 25, n. 14, p. 3237, 14 jul. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/14/3237>. Acesso em: 27 ago. 2025.

APAN, M. A.; ZDRBA, M. Improvement of quality and shelf-life of Sübye, a traditional beverage, *Food Science and Technology*, [S.l.], v. 1, n. 1., 2018.

ARAÚJO, C. F. G. Valor nutricional de leguminosas: comparação de sementes in natura, secas e germinadas. 2017. Mestrado em Controlo de Qualidade e Toxicologia dos Alimentos – Faculdade de Farmácia, Universidade de Lisboa. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRUTAS E DERIVADOS - ABRAFRUTAS. Painéis de exportação e produção de

frutas, Brasília, Distrito Federal, 2022. Disponível em: <https://abrafrutas.org/dados-estatisticos/>. Acesso em: 15 jul. 2025.

AKUBOR, P. I.; OBASI, B. C. Evaluation of the quality of a beverage prepared from toasted melon seeds. *South Asian Journal of Food Technology and Environment*, Pallavpuram, v. 5, n. 1, p. 763-770, 2019. Disponível em:

<https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/96956>. Acesso: 28 jul. 2025.

7

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. Official

methods of analysis of AOAC. 22. ed. Arlington: AOAC International, 2023.

3750 p.

BASTIOĞLU, A. Z. et al. Spray dried melon seed milk powder: physical, rheological and sensory properties. *Journal of Food Science and Technology, India*, v. 53, n. 5, p. 2396-2404, 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13197-016-2214-z>. Acesso em: 26 ago. 2025.

CANTERA, S et al. Technologies for the bioconversion of methane into more valuable products. *Current Opinion in Biotechnology, Londres*, v. 50, p. 128-135, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. Food Wastage Footprint: Impacts on Natural Resources – Summary Report. 1. ed. Roma, Itália: FAO, 2013. 63 p. ISBN 978-92-5-10775. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1694038d-98f7-40f6-be4b-98782544b9f9/content>. Acesso em: 19 jul. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. Global initiative on food loss and waste reduction. Roma, Itália: FAO, 2015. 8 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023. Roma, Itália: FAO, 2023. 384 p. ISBN 978-92-5-138262-2. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6e04f2b4-82fc-4740-8cd5-9b66f5335239/content>. Acesso em: 24 ago 2025.

GANESHA, K. S.; SRIDHAR, A.; VISHALI, S. Utilization of fruit and vegetable waste to produce value-added products: Conventional utilization and emerging opportunities- A review. *Chemosphere, Amsterdã, Holanda*, v. 287, n. 3, jan. 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004565352102693X?casa_token=QxULDJ-tag0AAAAA:hHACfRm2zWLFk4uAZqMRZpe8K-P6C2D0kIHjaDoyc_TLLw4csirR4eJuFKj_GNf5H1hA_yQM5CTJ#preview-section-cited-by. Acesso em: 21 ago. 2025.

HEYDARI, P. JAFARPOUR, N. Production of sustainable beverage from melon seeds of the Khatouni variety.cv. KhatooniCucumis melo. *Iran Journal of Food Science and Industries, [s. l.]*, v. 18, n. 119, dez. 2021.

KARAKAYA, S. et al. Nutritive value of a melon seed beverage. *Food Chemistry, [s. l.]*, v. 52, n.1, p. 139-141, mar. 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0308814694P4193J>. Acesso em: 26 ago. 2025.

LANA, M. M.; TAVARES, S. A. 50 hortaliças: como comprar, conservar e consumir. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2010. 209 p. ISBN 978-85-86413-XX-X. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/854775>. Acesso em: 26 ago. 2025.

LIU, L.; XI, J. Mechanochemical-assisted extraction of protein from watermelon seeds with surfactant. LWT, [s. l.], v. 142, n. 1, p. 111025, maio 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez18.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S002364382100178X>. Acesso em: 30 ago. 2025.

MALLEK-AYADI, S.; BAHLOUL, N.; KECHAOU, N. Chemical composition and bioactive compounds of Cucumis melo L. seeds: Potential source for new trends of plant oils. Process Safety and Environmental Protection, Londres, v. 113, n. 1, p. 68-77, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957582017303191>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MASCHIO, G. et al. Heath, nutrition and sustainability are in the core heart of Brazilian consumers' perception of whole foods utilization. International Journal of Gastronomy and Food Science, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 100640, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878450X22001755>. Acesso em: 24 ago. 2025

REIS, M. F. T. et al. Optimization of protein extraction process from jackfruit seed flour by reverse micelle system. Food Science and Technology, Campinas, SP, v. 38, n. 3, 2016. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/actascitechnol/index.php/ActaSciTechnol/article/view/28111>. Acesso em: 30 ago. 2025.

SKAF, L. et al. D. Unfolding hidden environmental impacts of food waste: An assessment for fifteen countries of the world. Journal of Cleaner Production, Nápoles, Itália, v. 310, n. 1, ago. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262101742X?via%3DiHub>. Acesso em: 24 ago. 2025.

Anexos



Figura 1. Quantidade de proteína(%) nos diferentes extratos de sementes de melão amarelo. Santa Cruz-RN, 2025.

CÓDIGO: SB1066

AUTOR: ERICK LUIS BARRETO DE PAIVA SIMEONI

COAUTOR: SUIAN MOREIRA SANTOS FONTES

ORIENTADOR: LIANA FRANCO PADILHA

TÍTULO: OBTENÇÃO DE CELULOSE A PARTIR DO SCOBY DA KOMBUCHA

Resumo

A celulose bacteriana (CB) é um biopolímero produzido por microrganismos, especialmente do gênero *Komagataeibacter*, com propriedades únicas como alta cristalinidade, pureza e capacidade de retenção de água. Recentemente, a bebida kombucha tem sido utilizada como uma fonte alternativa e acessível da CB, por meio da atividade metabólica do biofilme conhecido como SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast). O presente trabalho tem como objetivo revisar a literatura sobre os diferentes métodos de purificação da CB, suas implicações nas propriedades físico-químicas e as aplicações emergentes em materiais biodegradáveis. Além disso, relatam-se as etapas iniciais do projeto experimental, que incluíram o preparo da bebida de kombucha, a esterilização das vidrarias, a montagem dos recipientes e a obtenção do SCOBY após 21 dias de fermentação. Foram identificadas três principais categorias de purificação: (i) tratamento alcalino com hidróxido de sódio, (ii) processos oxidativos com agentes como peróxido de hidrogênio e hipoclorito de sódio, e (iii) uso de surfactantes e métodos combinados. A literatura aponta que a escolha do método impacta diretamente em propriedades como capacidade de retenção de água e biodegradabilidade, sendo determinante para a adequação da CB a diferentes aplicações. Os resultados parciais sugerem que a celulose obtida a partir do SCOBY apresenta elevado potencial para aplicações sustentáveis.

Palavras-chave: Kombucha. Celulose bacteriana. SCOBY. Purificação. Biodegradabilidade.

TITLE: OBTAINING CELLULOSE FROM THE KOMBUCHA SCOBY

Abstract

Bacterial cellulose (BC) is a biopolymer produced by microorganisms, particularly of the genus *Komagataeibacter*, with unique properties such as high crystallinity, purity, and water-holding capacity. Recently, kombucha has emerged as an alternative and accessible source of BC, through the metabolic activity of the biofilm known as

SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast). The present work aims to review the literature on the different methods of BC purification, their implications for physicochemical properties, and the emerging applications in biodegradable materials. In addition, the initial stages of the experimental project are reported, which included the preparation of kombucha tea, sterilization of glassware, assembly of the containers, and the obtainment of SCOBY after 21 days of fermentation. Three main purification categories were identified: (i) alkaline treatment with sodium hydroxide, (ii) oxidative processes with agents such as hydrogen peroxide and sodium hypochlorite, and (iii) the use of surfactants and combined methods. The literature indicates that the choice of purification method directly impacts properties such as water-holding capacity and biodegradability, being decisive for the suitability of BC in different applications. Partial results suggest that cellulose obtained from SCOBY has high potential for sustainable applications.

Keywords: Kombucha. Bacterial cellulose. SCOBY. Purification. Biodegradability.

Introdução

A celulose bacteriana (CB) é um biopolímero produzido por microrganismos, especialmente do gênero *Komagataeibacter*, que se destaca por sua alta pureza, cristalinidade e capacidade de retenção de água. Diferentemente da celulose vegetal, não contém lignina, hemicelulose ou outros componentes associados, o que reduz etapas de extração e purificação. Nos últimos anos, a kombucha tem ganhado destaque como fonte alternativa de CB. Essa bebida fermentada, obtida a partir de chá adoçado e da ação de um consórcio simbiótico de bactérias e leveduras denominado SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast), gera como subproduto um biofilme espesso e rico em celulose, que pode ser explorado em diferentes áreas tecnológicas.

O interesse por essa biomassa está associado ao movimento global por soluções sustentáveis que substituam materiais derivados do petróleo, como plásticos convencionais. A CB, por ser biodegradável, biocompatível e mecanicamente resistente, apresenta elevado potencial em embalagens alimentícias, dispositivos médicos e tecidos regenerativos. Além disso, pode atuar como matriz para incorporação de compostos bioativos, ampliando sua aplicabilidade.

Nesse contexto, compreender as metodologias de produção e, principalmente, os diferentes processos de purificação da CB é essencial. A escolha do método de tratamento impacta diretamente suas propriedades físico-químicas, incluindo porosidade, cristalinidade, biodegradabilidade e capacidade de retenção de água. Assim, investigar e comparar as estratégias descritas na literatura permite selecionar aquelas mais adequadas às demandas específicas de cada aplicação, contribuindo para o desenvolvimento de alternativas tecnológicas sustentáveis e alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

A literatura apresenta diversos caminhos para otimizar a produção e purificação da celulose bacteriana obtida de kombucha e outros sistemas fermentativos. No cultivo

tradicional, utilizam-se chá e sacarose como substratos, fornecendo nutrientes necessários ao crescimento microbiano. Estudos, como os de Yim et al. (2017), demonstram que a escolha da fonte de carbono e nitrogênio influencia diretamente o rendimento e a qualidade da CB, resultando em variações na espessura e nas propriedades mecânicas do biofilme. Além disso, investigações de Machado et al. (2018) e Ghozali et al. (2021) destacam o uso de resíduos agroindustriais, como melaço de cana-de-açúcar e efluentes de tapioca, como alternativas de baixo custo e ambientalmente vantajosas.

Quanto à purificação, três categorias principais são recorrentes. O tratamento alcalino com NaOH é o mais utilizado, promovendo a lise de células bacterianas, a desnaturação de proteínas e a solubilização de lipídios e polissacarídeos extracelulares. Em seguida, o branqueamento oxidativo, por meio de agentes como peróxido de hidrogênio ou hipoclorito de sódio, elimina pigmentos e compostos fenólicos que conferem coloração escura ao material. Mais recentemente, surgem as abordagens enzimáticas, que utilizam proteases e glicosidases para remover resíduos celulares com menor impacto ambiental e estrutural, embora ainda apresentem limitações de custo.

A revisão também evidencia que a escolha do processo de purificação está diretamente associada ao destino da CB. Para uso biomédico, exige-se máxima pureza, transparência e biocompatibilidade. Já para embalagens biodegradáveis, a clareza visual e a homogeneidade são relevantes, enquanto aplicações industriais podem priorizar custos e rendimento. Assim, a literatura reforça que não há um método universal, mas sim diferentes estratégias que devem ser adaptadas ao contexto de aplicação.

Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho foi dividida em duas etapas principais: (i) obtenção experimental do biofilme de celulose bacteriana (CB) a partir da kombucha, e (ii) avaliação preliminar de métodos de purificação parcial utilizando reagentes amplamente reportados na literatura.

É importante destacar que essas etapas de purificação tiveram caráter preliminar e parcial por motivos de limitações temporais, sem contemplar todas as estratégias descritas na literatura, como tratamentos combinados ou enzimáticos. Ainda assim, os três métodos testados permitem uma comparação inicial sobre a eficácia relativa de reagentes básicos de purificação da CB: o NaOH, como agente de limpeza celular, e o H₂O₂, como branqueador oxidativo suave.

Esses resultados parciais servirão como base para etapas posteriores do projeto, nas quais se pretende expandir a análise para protocolos mais completos e avaliar o impacto direto das diferentes purificações nas propriedades físico-químicas da celulose obtida.

i. Procedimento de obtenção do biofilme de celulose

Os recipientes utilizados foram todos higienizados e autoclavados a uma pressão de 121 kgf/cm² durante 15 minutos, seguindo todos os protocolos e instruções recomendadas pelo manual. A produção do substrato iniciou-se com a fervura de água destilada e, posterior infusão de folhas de chá verde (à granel) em concentração de 6 g/L durante 5 minutos. As folhas de chá foram removidas e foi adicionado açúcar cristal branco na concentração de 80 g/L para se obter um substrato com 8 % (m/v) de sacarose. A solução de chá foi deixada resfriar por 24 h e o inóculo foi adicionado na concentração de 15 % (m/v). O meio fermentativo foi coberto com papel toalha e deixado à temperatura ambiente até a formação e crescimento do SCOBY após 21 dias. O biofilme de celulose formado foi removido do meio fermentativo, lavado com água em abundância e dividido em partes iguais para testar as metodologias de purificação selecionadas.

ii. Purificação do biofilme de celulose

Embora o plano inicial previsse a comparação entre diferentes protocolos descritos na literatura, nesta fase do trabalho foi possível realizar apenas tratamentos parciais de purificação, com foco na remoção de contaminantes celulares e pigmentos superficiais.

Os métodos de purificação selecionados e as condições de imersão estão mostrados na Tabela 1. Após o procedimento de purificação, a celulose foi lavada com água destilada até pH neutro e as amostras armazenadas em água destilada estéril para que não se oxidem com o ar atmosférico e seja possível realizar outros procedimentos e análises no futuro.

Tabela 1: condições experimentais das purificações realizadas.

NaOH (sem aquecimento): o biofilme foi imerso em solução de hidróxido de sódio (1 M) em temperatura ambiente por algumas horas. Esse tratamento buscou avaliar a eficiência mínima do NaOH na remoção de células microbianas e proteínas sem auxílio do calor.

NaOH (com aquecimento): amostras do biofilme foram tratadas em solução de NaOH (1 M) sob aquecimento (~80 °C). O objetivo foi verificar o efeito combinado do álcali e da temperatura na lise celular, saponificação de lipídios e maior solubilização de polissacarídeos extracelulares, como descrito em estudos de Yim et al. (2017) e Ghazali et al. (2021).

H₂O₂: outras amostras foram submetidas a tratamento com solução de H₂O₂ (1,5 %), em temperatura ambiente. Esse agente oxidativo foi escolhido por sua capacidade de degradar compostos fenólicos e pigmentos, promovendo branqueamento parcial do material sem grande alteração estrutural (Medina-Jaramillo et al., 2017; Naomi et al., 2020).

Após os tratamentos, as membranas foram lavadas sucessivas vezes em água destilada até que atingissem pH próximo à neutralidade, reduzindo resíduos de reagentes.

Resultados e Discussões

No presente trabalho, foi possível realizar a preparação do meio de cultivo, iniciar a fermentação e observar a formação do biofilme, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Processo fermentativo para produção de biofilme de celulose.

Utilizando a celulose obtida no primeiro momento da pesquisa, foram realizados os tratamentos de purificação de forma simultânea em Becker de vidro. Imediatamente após imergir a celulose em seus respectivos reagentes, observou-se uma mudança da coloração da fase líquida. Os tratamentos com NaOH obtiveram líquidos de cor castanha, sendo um pouco mais escura para o tratamento (2) com aquecimento. O tratamento (3) com H_2O_2 tinha uma fase um pouco menos marrom, porém mostrava uma CB já bem mais esbranquiçada comparada às celulosas do tratamento (1) e (2). As colorações obtidas na purificação do biofilme podem ser visualizadas na Figura 2.

Figura 2: Purificação do biofilme pelos tratamentos (1) alcalino; (2) alcalino com aquecimento e (3) com peróxido de hidrogênio.

A Figura 3 apresenta as amostras de celulose purificada após a remoção dos reagentes com lavagens sucessivas de água até neutralidade. Pode-se notar a partir dessa figura que a celulose proveniente do tratamento alcalino com NaOH e aquecimento obteve uma amostra mais clara após a lavagem, destacando a importância do aquecimento para essa purificação. A cor mais escura durante o tratamento (2) mostra uma possível relação com o maior teor de material removido da celulose que foi transferido para a fase líquida. O tratamento com H_2O_2 também mostrou um grau de clareamento razoável, como pode ser visualizado na Figura 3, resultando em uma CB de cor intermediária em relação aos três métodos.

Figura 3: Da esquerda para a direita, celulose purificada obtida pelos tratamentos (3), (1) e (2).

A partir do resultado experimental e dos dados fornecidos pela literatura revisada, é possível fazer uma comparação, relacionando os reagentes e suas respectivas funções no processo de purificação, destacando que material é removido com o seu uso, como mostra a Figura 4.

Figura 4: Comparação entre os tratamentos de purificação.

Essa comparação mostra que o tratamento alcalino continua sendo o protocolo padrão para purificação do biofilme, mas há uma busca crescente por alternativas que reduzam os impactos ambientais e mantenham as propriedades funcionais do material. Dessa forma, cada método deve ser escolhido considerando tanto a aplicação final da CB quanto os recursos disponíveis no processo.

Conclusão

Os estudos analisados nesta revisão demonstram que a produtividade e a qualidade da CB são fortemente dependentes das condições de cultivo e da escolha dos substratos. Além disso, a utilização do biofilme sem nenhum tratamento posterior não é recomendada. O tratamento alcalino continua sendo o método mais amplamente empregado, embora novas abordagens possam ser exploradas para reduzir o consumo de reagentes e impactos ambientais. A etapa de purificação é fundamental, uma vez que influencia diretamente propriedades estruturais e funcionais da CB, impactando seu desempenho em aplicações finais.

Foram realizadas as purificações por tratamento alcalino com NaOH a temperatura ambiente e com aquecimento (80°C) e por tratamento oxidativo com H₂O₂ que mostraram bons resultados para a purificação do biofilme. Percebeu-se a importância do aquecimento no tratamento com hidróxido de sódio, que aumentou a eficácia do processo, resultando numa celulose de cor mais branca.

Assim, pode-se concluir que a kombucha se configura como uma plataforma biotecnológica promissora para obtenção de CB. O aproveitamento de resíduos agroindustriais, a aplicação de técnicas de otimização e o desenvolvimento de métodos de purificação mais sustentáveis representam caminhos estratégicos para transformar esse biopolímero em uma alternativa concreta e competitiva frente aos materiais sintéticos tradicionais.

Os próximos esforços do projeto consistem em avaliar o efeito da concentração, do tempo de exposição e da temperatura no resultado purificação, bem como nas propriedades da celulose obtida e quais aplicações poderiam ser exploradas.

Referências

Ghozali, M., Meliana, Y., & Chalid, M. (2021). Synthesis and characterization of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* using tapioca liquid waste. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2131–2134. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.274>

Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., & Sathishkumar, M. (2014). A Review on Kombucha Tea—Microbiology, Composition, Fermentation, Beneficial Effects, Toxicity, and Tea Fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538–550. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12073>

Kumar, V., Sharma, D. K., Bansal, V., et al. (2019). Efficient and economic process for the production of bacterial cellulose from isolated strain of *Acetobacter pasteurianus* of RSV-4 bacterium. *Bioresource Technology*, 275, 430–433. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.042>

Machado, R. T., Meneguim, A. B., Sábio, R. M., et al. (2018). *Komagataeibacter rhaeticus* cultivated in sugarcane molasses-supplemented culture medium as a strategy

to improve bacterial cellulose production. *Industrial Crops and Products*, 122, 637–646. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.048>

Medina-Jaramillo, C., Ochoa-Yepes, O., Bernal, C., & Famá, L. (2017). Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. *Carbohydrate Polymers*, 176, 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.079>

Naomi, R., Idrus, R. B. H. J., & Fauzi, M. H. B. (2020). Plant-vs. bacterial-derived cellulose for wound healing: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6803. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186803>

OEC – Observatory of Economic Complexity. (2021). Petroleum, Crude: Product Trade, Exporters and Importers. Disponível em: <https://oec.world/en/profile/hs92/crude-petroleum>

Rastogi, A., & Banerjee, R. (2020). Statistical optimization of bacterial cellulose production by *Leifsonia soli* and its physicochemical characterization. *Process Biochemistry*, 91, 297–302. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.12.021>

Yim, S. M., Song, J. E., & Kim, H. R. (2017). Production and characterization of bacterial cellulose fabrics by tea nitrogen source and sugar carbon source. *Process Biochemistry*, 59, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.07.001>

Anexos



Tabela 1: condições experimentais das purificações realizadas.



Figura 1: Processo fermentativo para produção de biofilme de celulose.



Figura 2: Purificação do biofilme pelos tratamentos (1) alcalino; (2) alcalino com aquecimento e (3) com peróxido de hidrogênio.



Figura 3: Da esquerda para a direita, celulose purificada obtida pelos tratamentos (3), (1) e (2).



Figura 4: Comparação entre os tratamentos de purificação.

CÓDIGO: SB1097

AUTOR: AMANDA FREIRE NOGUEIRA

ORIENTADOR: KATYA ANAYA JACINTO SCATTONE

TÍTULO: Estudo das proteínas de sementes de melão amarelo (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin) e melão cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *Cantalupensis*)

Resumo

Introdução: O Brasil é um dos países que mais desperdiçam alimentos, e a produção de melão gera sementes residuais ricas em nutrientes. Este estudo buscou identificar o teor proteico de extratos aquosos de sementes de melão amarelo (*Cucumis melo* L. var. *inodorus*) e cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *cantalupensis*), visando otimizar a extração e incentivar o aproveitamento integral. **Metodologia:** A pesquisa, de caráter quantitativo e experimental, seria conduzida nos laboratórios da FACISA/UFRN. As sementes, obtidas de frutos maduros, passaram por higienização, secagem em estufa (80 °C/24h), trituração e armazenamento para obtenção das farinhas. As proteínas seriam extraídas segundo a metodologia de Osborne, obtendo-se frações de albuminas, globulinas, prolaminas e glutelinas. O teor proteico seria determinado pelo método de Bradford e o perfil avaliado por SDS-PAGE. **Resultados e Discussão:** Embora não tenha sido realizada a etapa experimental, a literatura indica que sementes de melão contêm proteínas, lipídios, fibras e minerais, com predominância de globulinas e albuminas, perfil semelhante ao de sementes de abóbora. Reaproveitamento viável em farinhas e alimentos enriquecidos, contribuindo para sustentabilidade e redução de desperdício. **Conclusão:** Sementes de melão têm elevado potencial nutricional e podem ser usadas em alimentos, mas a limitação de recursos em universidades públicas dificulta pesquisas.

Palavras-chave: Aproveitamento integral. Resíduos agroindustriais. Proteínas. Sementes

TITLE: Study of Proteins from Yellow Melon Seeds (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin) and Cantaloupe Melon (*Cucumis melo* L. var. *cantalupensis*)

Abstract

Introduction: Brazil is one of the countries that wastes the most food, and melon production generates residual seeds rich in nutrients. This study aimed to identify the protein content of aqueous extracts from seeds of yellow melon (*Cucumis melo* L. var. *inodorus*) and cantaloupe melon (*Cucumis melo* L. var. *cantalupensis*), aiming to optimize extraction and encourage integral use. **Methodology:** The research, quantitative and experimental, would be conducted in the FACISA/UFRN laboratories. The seeds, obtained from ripe fruits, would undergo sanitization, drying in an oven (80 °C/24h), grinding and storage for the preparation of flours. The proteins would be extracted according to Osborne's methodology, obtaining albumin, globulin, prolamins and glutelins fractions. The protein content would be determined by the Bradford method and the profile evaluated by SDS-PAGE. **Results and Discussion:** Although the experimental stage has not been carried out, the literature indicates that melon seeds contain proteins, lipids, fibers and minerals, with a predominance of globulins and albumins, a profile similar to that of pumpkin seeds. Reuse is viable in flours and enriched foods, contributing to sustainability and reduction of waste. **Conclusion:** Melon seeds have high nutritional potential and can be used in foods, but the lack of resources in public universities makes research difficult.

inodorus) and cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *cantalupensis*), aiming to optimize protein extraction and encourage the integral use of these residues. **Methodology:** The quantitative and experimental research would be conducted at the FACISA/UFRN laboratories. Seeds from mature fruits were cleaned, dried in an oven (80 °C/24h), ground, and stored to obtain flours. Proteins were extracted following Osborne's methodology, obtaining fractions of albumins, globulins, prolamins, and glutelins. Protein content was determined by the Bradford method, and the profile was evaluated by SDS-PAGE. **Results and Discussion:** Although the experimental stage was not performed, literature indicates that melon seeds contain proteins, lipids, fibers, and minerals, with predominance of globulins and albumins, a profile similar to pumpkin seeds. Their reuse is viable in flours and enriched foods, contributing to sustainability and waste reduction. **Conclusion:** Melon seeds have high nutritional potential and can be used in food products, but the limited resources in public universities hinder research.

Keywords: Integral use. Agro-industrial residues. Proteins. Melon seeds. Extraction

Introdução

A evolução tecnológica trouxe avanços significativos, especialmente na extração de recursos naturais, mas a regeneração ambiental não acompanha a velocidade de exploração. O Brasil, embora seja um dos maiores produtores de alimentos, está entre os dez países que mais desperdiçam, com perdas estimadas em 27 milhões de toneladas ao ano (Longo, 2022; Cruz et al., 2022). Até 2050, com o crescimento populacional, a fome tende a aumentar, tornando a segurança alimentar um desafio central. O desperdício de alimentos é um fator crítico, sendo apontado pela FAO como chave para reduzir a fome e promover sustentabilidade (Siatkowski; Stafano; Chiusoli, 2020).

Entre os alimentos mais desperdiçados estão frutas e hortaliças, cuja aceitação é fortemente influenciada por aspectos sensoriais. Pequenas imperfeições visuais, mesmo em produtos próprios para consumo, levam ao descarte por parte dos consumidores, associados a qualidade ou sabor inferiores, o que evidencia a necessidade de atenção ao tema (Knopp; Soares, 2024). No Brasil, o melão se destaca entre as frutas mais exportadas, com o Rio Grande do Norte como maior produtor e exportador (ABRAFRUTAS, 2025).

O melão (*Cucumis melo* L.), da família Cucurbitaceae, é amplamente cultivado no país, adaptando-se a diversas regiões. Mundialmente, a China lidera a produção, enquanto o Brasil é o maior produtor de melão na América do Sul, com destaque para o estado do Rio Grande do Norte. Entre as variedades, os melões nobres, como o tipo cantaloupe (*Cucumis melo* var. *reticulatus* Ser.), se destacam pela polpa doce, aroma e qualidade sensorial (Gomes et al., 2020; IBGE, 2023; Morais et al., 2019). Entre os mais comuns nos mercados brasileiros, destaca-se o melão amarelo (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin) (Lana; Tavares, 2010).

A pandemia de COVID-19 evidenciou o aumento da insegurança alimentar, reforçando a importância de pesquisas sobre desperdício e reaproveitamento de alimentos. O descarte

está ligado a aspectos culturais e comportamentais que desprezam cascas, talos, sementes e folhas. O aproveitamento integral desses resíduos pode enriquecer nutricionalmente os alimentos e reduzir impactos ambientais (Pereira; Firmo; Coutinho, 2022).

Na indústria alimentícia, subprodutos como cascas, sementes e caroços são frequentemente descartados. No melão, cerca de 60% da fruta corresponde a esses resíduos, que podem ser aproveitados por seu conteúdo nutricional, incluindo vitaminas, minerais, fibras e compostos bioativos, permitindo a criação de produtos de maior valor agregado, como bolos, biscoitos e barras de cereais (Amaral et al., 2022).

Em países como Turquia e Índia, sementes de melão são aproveitadas de diferentes maneiras, como em sopas, torradas ou na produção de bebidas vegetais. Após secagem, trituração e filtração, obtém-se extrato que, ao ser pulverizado, origina leite em pó de semente de melão (Bastioğlu, 2016).

O uso integral de alimentos, com aproveitamento de sementes, cascas e talos, é essencial para reduzir desperdício e criar produtos nutritivos. Extratos de sementes de melão apresentam potencial nutricional e sensorial, contribuindo para alimentação saudável, especialmente em populações vulneráveis. No entanto, ainda há carência de estudos sobre o tema. Este projeto busca identificar técnicas de extração para desenvolvimento de bebidas nutricionalmente enriquecidas e difundir esse conhecimento à sociedade.

Objetivo: Identificar as frações proteicas de sementes de melão amarelo (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin) e melão cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *cantalupensis*).

Metodologia

O estudo consistiria em uma pesquisa do tipo quantitativa e experimental que seria realizada na Faculdade de Ciências da Saúde do Trairí/Universidade Federal do Rio Grande do Norte (FACISA/UFRN), nos laboratórios de Análise e Bioquímica de Alimentos, Microbiologia de Alimentos, Tecnologia dos Alimentos e Técnica Dietética. Algumas análises seriam realizadas em parceria com pesquisadores de outros centros, somando esforços para o fortalecimento do recém-criado Grupo Interinstitucional de Pesquisa em Alimentos.

Aquisição da matéria-prima e abordagem geral

Melões cantaloupe maduros serão obtidos em mercados locais do município de Santa Cruz-RN. Inicialmente, será realizada a lavagem das sementes em água corrente, submersão em solução de hipoclorito de sódio, respeitando a concentração e o tempo conforme a indicação da embalagem, e na lavagem novamente em água corrente. A umidade superficial será removida com uso de papel toalha, e as sementes serão então armazenadas em um recipiente de fechamento hermético e destinadas ao congelamento até o momento de início das análises. As cascas e polpas serão armazenadas em refrigeração para serem utilizadas em outras atividades do laboratório.

Elaboração das farinhas

A elaboração das farinhas ocorrerá de modo semelhante para ambas as

sementes. Inicialmente, será necessário transferir as sementes previamente pesadas para formas retangulares de teflon e levá-las à estufa com ventilação forçada à 80 °C, por um período de aproximadamente 24 horas, condições de temperatura e tempo conforme as descritas por Rolim e colaboradores (2020). Após a secagem, elas serão resfriadas em temperatura ambiente, pesadas em balança eletrônica e trituradas em liquidificador doméstico até obter-se uma farinha de fina granulação. Finalizado esse procedimento, a farinha será armazenada em um recipiente de fechamento hermético e mantida em temperatura ambiente.

Perfil proteico dos extratos de semente de melão

As proteínas das sementes de melão seriam fracionadas conforme a sua solubilidade, segundo o método descrito por Dias et al. (2024). Seria empregada a extração sequencial, iniciada com água destilada, depois com solução de NaCl 1M, etanol 70% e NaOH 0,05 M. A extração com cada solvente ocorreria na proporção de 1:10 (m:v, farinha da semente seca:solvente), teria duração de 1h e seria realizada a 25 °C com agitação constante (120 rpm). As frações proteicas de cada etapa seriam centrifugadas (3578 g, 10 min, 4 °C) e o precipitado seria ressuspensão no solvente subsequente. Assim, seriam obtidas as frações de Osborne: rica em albumina (FRA), rica em globulina (FRG), rica em prolamina (FRP) e rica em glutelina (FRG). A inclusão do sufixo “rica” reconheceria o potencial de coextração de várias classes de proteínas nas frações, considerando que nenhuma purificação adicional seria realizada após extração e centrifugação. A extração sequencial seria realizada em triplicata.

O teor de proteínas seria dosado pelo método de Bradford (1976), sendo as leituras das absorbâncias realizadas a 595 nm. Já a visualização do perfil proteico seria feita pelo método de eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE), realizada segundo o método de Laemmli (1970), na presença de SDS, usando gel de separação de 15%, gel de concentração de 4%, tampão de amostra contendo azul de bromofenol a 1%, SDS 10% e glicerol 1% em Tris-HCl pH 6,8, e amperagem constante de 30 mA. O gel seria corado com solução corante composta por 0,25% de Coomassie Blue R-250 em ácido acético/metanol/água (1:4:5) e descorado com solução contendo 30% de etanol e 10% de ácido acético em água destilada.

Contudo, não foi possível executar a análise do perfil proteico das sementes de melão nem obter resultados devido à indisponibilidade dos insumos necessários para a realização dos procedimentos experimentais. Ressalta-se a importância da aquisição dos reagentes e materiais adequados para viabilizar a continuidade do estudo em etapas futuras.

Resultados e Discussões

Embora não tenha sido possível obter resultados experimentais nesta etapa, o perfil proteico das sementes de melão pode ser discutido com base em evidências da literatura.

Becker e Krüger (2010), ao avaliarem sementes de abóbora, melancia e melão, verificaram que as farinhas obtidas a partir desses resíduos apresentaram teores significativos de lipídios, cálcio e fibras, além de um conteúdo proteico relevante. Esses achados reforçam o potencial nutricional de sementes de cucurbitáceas como fonte alternativa de nutrientes.

De forma semelhante, Cavalcante et al. (2024) determinaram o teor de proteínas em extratos de sementes de jambo vermelho utilizando o método de Bradford, observando resultados comparáveis aos reportados para sementes de melão. O estudo destacou, ainda, a eficiência do método de Bradford na quantificação proteica, o que corrobora sua aplicabilidade em diferentes matrizes vegetais.

Adicionalmente, Pacheco et al. (2022), destacou no seu estudo sobre as proteínas presentes em sementes de abóbora espécie pertencente à mesma família dos melões, que as globulinas representam a principal fração proteica, seguidas pelas albuminas, que juntas corresponderam a aproximadamente 59% do teor proteico das sementes in natura. Tais resultados sugerem que o perfil proteico das sementes de melão poderia apresentar distribuição semelhante entre essas frações, reforçando a relevância dessas sementes como fonte de proteínas vegetais.

Sob essa ótica, a utilização de resíduos agroindustriais tem se consolidado como uma estratégia relevante, não apenas por contribuir para a sustentabilidade ambiental, mas também por possibilitar o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis e de menor custo. Nesse contexto, as pesquisas científicas assumem papel fundamental. Entre as alternativas estudadas, destaca-se a produção de farinhas obtidas a partir de resíduos de melão, as quais têm sido empregadas na substituição ou na fortificação de produtos como pães, bolos e biscoitos, apresentando boa aceitação por parte dos consumidores (Miranda; Lima; Oliveira; Luz, 2021).

No estudo de Bastioğlu (2021), por exemplo, um dos objetivos foi desenvolver um extrato em pó a partir de resíduos de melão. Para isso, foram utilizados frutos das variedades Kırkağaç (C. melo subsp. melo cv. Kırkağaç) e Çeşme (C. melo subsp. melo cv. Çeşme), cultivados na Turquia. Esse trabalho evidencia que o reaproveitamento de resíduos alimentares é viável e pode atender a diferentes públicos, incluindo pessoas veganas ou com restrições ao consumo de produtos de origem animal.

Nessa perspectiva, ensinar e aplicar o reaproveitamento integral dos alimentos em escolas e instituições que produzem em grande escala torna-se fundamental, sobretudo diante da expressiva quantidade de resíduos orgânicos e inorgânicos gerados. A adoção de práticas educativas voltadas para esse objetivo contribui para a redução do volume de lixo, promove maior sustentabilidade e reforça o cuidado com o meio ambiente (Carvalho et al., 2018).

O acesso a uma alimentação adequada e de qualidade é um direito fundamental de todos. No entanto, a má distribuição dos alimentos e o elevado índice de desperdício representam obstáculos para a efetivação desse direito. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o Brasil está entre os países que mais desperdiçam comida no mundo. Nesse contexto, o aproveitamento de resíduos que normalmente seriam descartados surge como uma alternativa importante para reduzir esses impactos (Silva et al., 2022).

Embora os resultados obtidos evidenciem o potencial do aproveitamento das

sementes de melão, ainda são poucas as pesquisas voltadas especificamente para essa área. Diante disso, torna-se evidente a necessidade de aprofundar os estudos, a fim de explorar de maneira mais ampla suas aplicações tecnológicas, nutricionais e sustentáveis. Investigações futuras poderão não apenas ampliar o conhecimento científico disponível, mas também contribuir para a redução de resíduos e para o desenvolvimento de novos produtos com valor agregado, como por exemplo, bebidas vegetais à base desses resíduos.

Conclusão

Embora não tenham sido obtidos resultados experimentais nesta etapa, a literatura evidencia que as sementes de melão apresentam elevado potencial nutricional, especialmente como fonte de proteínas, lipídios, fibras e minerais. Estudos em sementes de abóbora indicam que as globulinas e albuminas constituem as principais frações proteicas, sugerindo perfil similar para sementes de melão. O aproveitamento desses resíduos agroindustriais se mostra viável e promissor, podendo ser aplicado na produção de farinhas, fortificação de alimentos e desenvolvimento de produtos com valor agregado, contribuindo para a sustentabilidade, redução de desperdício e promoção de alternativas alimentares mais nutritivas. Dessa forma, reforça-se a importância de aprofundar pesquisas sobre as aplicações tecnológicas, nutricionais e funcionais das sementes de melão, estimulando o aproveitamento integral dos alimentos e o desenvolvimento de estratégias que conciliem saúde, economia e preservação ambiental. Contudo, destaca-se que a realização de pesquisas em universidades públicas muitas vezes enfrenta dificuldades devido à escassez de insumos e recursos laboratoriais, o que pode limitar a execução experimental e a consolidação de estudos nessa área.

Referências

- AMARAL, S. M. B.; MARINHO, R. M. O.; ALMEIDA, A. P. F.; SILVA, F. S.; SILVA, Y. V.; MEDEIROS, M. M. L.; DAMACENO, M. N. Subprodutos do melão (*Cucumis melo* L.) na elaboração de produtos alimentícios: uma revisão. In: II CONGRESSO ON-LINE DE CIÊNCIAS DOS ALIMENTOS, 2., 2022, [S. l.]. Anais [...]. Organização: Jackson Andson de Medeiros; Carolina Madazio Niro. [S. l.]: Agron Food Academy, 2022. p. 806. Disponível em: <https://agronfoodacademy.com/9786599539657-91/>. Acesso em: 23 ago 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRUTAS E DERIVADOS - ABRAFRUTAS. Painéis de exportação e produção de frutas, Brasília, Distrito Federal, 2025. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2025/04/rio-grande-do-norte-mira-a-china-para-ampliar-exportacoes-de-frutas-e-hortalicas/>. Acesso em: 23 ago 2025.
- BASTIOĞLU, A. Z. et al. Spray dried melon seed milk powder: physical, rheological and sensory properties. *Journal of Food Science and Technology*, v. 53, n. 5, p. 2396-2404, maio 2016. Disponível em:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4921091/>. Acesso em: 24 ago 2025.

BECKER, T. S.; KRÜGER, R. L. ELABORAÇÃO DE BARRAS DE CEREAIS COM INGREDIENTES ALTERNATIVOS E REGIONAIS DO OESTE DO PARANÁ. Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR, [S. l.], v. 14, n. 3, 2012. Disponível em: <https://revistas.unipar.br/index.php/saude/article/view/3663>. Acesso em: 27 ago. 2025.

CAVALCANTE, L. J. C.; NASCIMENTO, N. V. L.; CHAVES, V. R.; SILVA, M. F.; TAVARES, C.D. A.; ALVES, D. R.; MORAIS, S. M.; OLIVEIRA, Determinação do teor de proteínas totais em extrato da sementes de jambo-vermelho *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L.M.Perry pelo método de Bradford. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 63., 2024, Salvador. Anais [...]Salvador: ABQ, 2024. ISBN 978-65-990711-8-8. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2024/trabalhos/7/index.html>. Acesso em: 27 ago. 2025.

CARVALHO, L.R.; RENNO, P.B.; LOURENCO, M.S.; MEDEIROS, M.G.G.A.; MOZOTO, M L. Práticas educativas de gestão ambiental nos serviços de alimentação permissionários dos campi de universidade pública do estado do rio de janeiro. Revista Higiene Alimentar, v. 32, p. 26-30. 2018. Disponível em: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/11/965456/284-285-set-out-2018-26-30.pdf>. Acesso em: 25 ago 2025.

CRUZ, B.L.O.; FIGUEIREDO, A.M.R.; FAGUNDES, M.B.B; SANTOS, P.S. Uma investigação sobre os projetos de lei de combate ao desperdício de alimentos no Brasil. Revista Brasileira de Políticas públicas, v. 12, n.3. Disponível em: <https://www.publicacoes.uniceub.br/RBPP/article/view/7824>. Acesso em: 23 ago 2025.

DIAS, F. F. G.; YANG, J. S.; PHAM, T. T. K.; BARILE, D.; MOURA BELL, J. M. L. N. de. Unveiling the contribution of Osborne protein fractions to the physicochemical and functional properties of alkaline and enzymatically extracted green lentil proteins. Sustainable Food Proteins, v. 2, n. 2, p. 61-77, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/378279588_Unveiling_the_contribution_of_Osborne_protein_fractions_to_the_physicochemical_and_functional_properties_of_alkaline_and_enzymatically_extracted_green_lentil_proteins. Acesso em: 27 ago. 2025.

GOMES, R. S. S. et al. Conservação e qualidade pós-colheita de melão ‘Cantaloupe’ tratados com indutores de resistência. Nativa, Sinop, v. 10, n. 2, p. 237-243, 2022. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/13622/12877>. Acesso em: 24 ago 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção de Melão. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/melao/br>. Acesso em: 24 ago 2025.

KNOPP, G.C.; SOARES, E.L.A.; Estética e Desperdício de Alimentos: Compreendendo as preferências e as escolhas dos consumidores de frutas, legumes e verduras. Research, Society and Development, v. 13, n. 3, e11713345365, 2024. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/45365/36176/472914>. Acesso em: 23 ago

2025.

LANA, M.M.; TAVARES, S.A. 50 hortaliças: como comprar, conservar e consumir. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2010. 209 p. ISBN 978-85-86413-XX-X. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/854775>. Acesso em: 24 ago 2025.

LONGO, A.M.M. Perdas e desperdício de alimentos no Brasil. Orientadora: Daniela Scarpa Beneli. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Econômicas) Centro de Economia e Administração, Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022.

MIRANDA, M.P.S.; LIMA, R.L.; OLIVEIRA, V.T.L.; LUZ, A.B.S. Preparações culinárias

elaboradas com farinha das sementes de melão cantaloupe: estudo piloto. Revista Ciência Plural, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 43–60, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/rcp/article/view/23661>. Acesso em: 26 ago. 2025.

MORAIS, A. A. et al. Cultivo de melão nobre tipo cantaloupe em substrato sob ambiente protegido. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019. 166 p.

PACHECO, A. F. Coelho.; PEREIRA, G. Z.; RODRIGUES, A. C. S.; CUNHA, J. S.; PACHECO, F. C.; PAIVA, P. H. C.; TRIBST, A. A. L.; LEITE JUNIOR, B. R. C.

Proteínas de sementes de abóbora e propriedades multifuncionais de seus hidrolisados: uma revisão. Research, Society and Development, v. 11, n. 8, e47211831161, 2022. Disponível em:

<https://rsdjournal.org/rsd/article/download/31161/26708/355925>. Acesso em: 27 ago. 2025.

PEREIRA, L.F.A.; FIRMO, W.C.A.; COUTINHO, D.F. A importância do reaproveitamento de resíduos da indústria alimentícia: o caso do processamento de frutas. Research, Society and Development, v. 11, n. 12, e38111234089, 2022.

Disponível

em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/34089/28819/382091>.

Acesso em: 24 ago 2025.

ROLIM, P. M.; SEABRA, S. M. J.; MACEDO, G. R. Melon By-Products: Biopotential in Human Health and Food Processing. Food Reviews International, v. 36, n. 1, p. 15-38, maio 2020. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/87559129.2019.1613662>. Acesso em: 27 ago 2025.

SIATKOWSKI, A.; STEFANO, S.R.; CHIUSOLI, C.L. Desenvolvimento sustentável: consequências e impactos de perdas e desperdícios de alimentos. Facit Business and Technology Journal, v.1, n. 14, 2020.

Disponível em:

<https://revistas.faculdefacit.edu.br/index.php/JNT/article/view/513>. Acesso em: 23 ago 2025.

SILVA, P. A. P. C.; SOUZA, R. M.; SOUZA, S. M.; LUCAS, L. E. S. Aproveitamento integral dos alimentos: alimentos alternativos de baixo custo com alto valor nutricional na melhoria da qualidade de vida da população. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, [S. l.], v. 8, n. 10, p. 1466–1479, 2022. DOI: 10.51891/rease.v8i10.7249. Disponível em:

<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/7249>. Acesso em: 26 ago. 2025.

CÓDIGO: SB1275

AUTOR: LAIRA FERNANDES DA SILVA

ORIENTADOR: KATYA ANAYA JACINTO SCATTONE

TÍTULO: Detecção de inibidores de tripsina e lectinas em sementes de melão amarelo (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin) e melão cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *Cantalupensis*).

Resumo

O melão (*Cucumis melo* L.), amplamente cultivado no Nordeste brasileiro, gera grande volume de resíduos, sobretudo sementes, que apresentam valor nutricional e bioativo relevante, mas também podem conter fatores antinutricionais como inibidores de tripsina e lectinas. Este trabalho avaliou extratos de sementes de melão amarelo (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin) e cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *Cantalupensis*), nas formas fresca, seca e em farinha, com análise planejada para detecção de inibidores de tripsina e lectinas por métodos espectrofotométricos e testes de hemaglutinação. Embora limitações técnicas tenham impedido a conclusão dos ensaios, a revisão bibliográfica indicou que os inibidores de proteases são mais efetivamente inativados por cozimento úmido e mais resistentes ao calor seco, enquanto as lectinas possuem atividade de ligação a carboidratos, podendo tanto prejudicar a absorção de nutrientes quanto apresentar efeitos imunomodulatórios e antimicrobianos. Conclui-se que as sementes de melão apresentam potencial de aproveitamento como fonte de compostos bioativos, podendo contribuir para o desenvolvimento de farinhas, extratos e bebidas funcionais, desde que adequadamente processadas, favorecendo o aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais.

Palavras-chave: Melão; Aproveitamento Integral dos alimentos; Fatores Antinutricionais

TITLE: Detection of trypsin inhibitors and lectins in yellow melon (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin) and cantaloupe melon (*Cucumis melo* L. var. *Cantalupensis*) seeds.

Abstract

Melon (*Cucumis melo* L.), widely cultivated in Northeastern Brazil, generates a large volume of waste, particularly seeds, which have significant nutritional and bioactive value but may also contain antinutritional factors such as trypsin inhibitors and lectins. This study evaluated seed extracts from yellow melon (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin) and cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *Cantalupensis*), in fresh, dried, and flour forms, with analysis designed to detect trypsin inhibitors and lectins using spectrophotometric methods and hemagglutination tests. Although technical limitations prevented completion of the trials, the literature review indicated that protease inhibitors are more effectively inactivated by moist cooking and more resistant to dry heat, while lectins possess carbohydrate-binding activity, potentially impairing nutrient absorption and exhibiting immunomodulatory and antimicrobial effects. It is concluded that melon seeds have potential for use as a source of bioactive compounds, and can contribute to the development of flours, extracts and functional beverages, provided they are adequately processed, favoring the sustainable use of agro-industrial waste.

Keywords: Melon; Whole Food Utilization; Antinutritional Factors.

Introdução

No Nordeste do país, o cultivo de *Cucumis melo* L., popularmente conhecido como melão, apresenta-se com grande importância, uma vez que a região é responsável por cerca de 95% da produção deste fruto, tendo o estado do Rio Grande do Norte como principal produtor (Medeiros et al., 2020). O melão é uma das frutas mais populares mundialmente, amplamente consumido devido ao seu sabor adocicado, aroma agradável, textura suculenta e à sua versatilidade no preparo de diversos pratos, além de apresentar um perfil nutricional rico em minerais como cálcio, fósforo, sódio, magnésio e potássio e ter um baixo valor energético (Costa, 2017), tornando-o uma opção bastante atrativa para ser inserida na alimentação.

Apesar disso, o Brasil desperdiça cerca de 35% dos alimentos produzidos anualmente (FAO, 2023), e o melão apresenta elevadas perdas, tanto pela sua perecibilidade quanto pelo descarte de sementes e cascas (Bessa et al., 2018). O reaproveitamento integral desses subprodutos surge como alternativa sustentável, reduzindo resíduos orgânicos e agregando valor nutricional às preparações (Longo, 2022).

As sementes de melão destacam-se pelo alto teor de proteínas, lipídeos, carboidratos, fibras solúveis, além de ácidos graxos poli-insaturados, tocoferóis e esteróis, compostos antioxidantes que contribuem para a proteção celular e redução de risco cardiovascular (Silva et al., 2020). O aproveitamento integral de alimentos, incentivado desde a década de 1970, fortalece a sustentabilidade, diminui o impacto ambiental e promove segurança alimentar. Nesse sentido, o uso das sementes na elaboração de extratos ou bebidas é uma alternativa viável, pois transforma resíduos em ingredientes funcionais, diversifica a dieta, promove hábitos saudáveis e gera benefícios econômicos e ambientais (Silva; Schlabit; Souza, 2010).

Os extratos de sementes de melão ainda apresentam propriedades antioxidantes que retardam a oxidação de óleos, contribuindo para maior preservação de alimentos.

Assim, além do valor nutricional, o reaproveitamento agrega sustentabilidade ao reduzir desperdício e impactos ambientais (Pereira, 2014).

Contudo, fatores antinutricionais presentes em sementes podem comprometer a biodisponibilidade de nutrientes ou causar efeitos indesejáveis (Silva & Silva, 2000). Entre eles destacam-se os inibidores de proteases, como a tripsina, e as lectinas, que podem estar presentes nas sementes de melão (Pereira, 2022). Apesar de serem sensíveis ao tratamento térmico, a detecção e o monitoramento desses compostos são essenciais para garantir segurança no consumo e viabilizar o desenvolvimento de novos produtos alimentícios.

Portanto, este projeto teve como proposta avaliar a presença de fatores antinutricionais, como inibidores de tripsina e lectinas, em sementes de melão amarelo (*Cucumis melo* L. var. *inodorus* Naudin) e melão cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *Cantalupensis*), a fim de promover o desenvolvimento seguro de bebidas com elevado valor nutricional por meio de diferentes técnicas de extração, ampliando as alternativas de consumo e difundindo práticas alimentares mais sustentáveis.

Metodologia

A pesquisa foi conduzida como um estudo quantitativo e experimental. Para a realização dos ensaios, melões das variedades amarelo e cantaloupe foram adquiridos em mercados e feiras livres locais de Santa Cruz-RN. As amostras coletadas foram encaminhadas para o Laboratório de Técnica Dietética da Faculdade de Ciências da Saúde do Trairi/UFRN, onde os frutos passaram por processo de higienização, foram cortados e as sementes removidas e novamente higienizadas.

A partir dessas sementes, prepararam-se extratos aquosos utilizando tanto a forma fresca quanto a seca, na proporção de 1:6 (semente:água potável), bem como a partir das farinhas obtidas das mesmas. O processo de secagem foi realizado em estufa com ventilação forçada a 80 °C durante 2 horas, e a farinha resultante foi produzida em liquidificador doméstico, em velocidade média, até atingir granulometria fina. Para os extratos, foram testados três tempos de extração (1, 3 e 5 minutos). O teor de proteínas foi determinado pelo método de Kjeldahl e os dados analisados no software IBM SPSS® Statistics (versão 20), sendo o método de extração com sementes secas trituradas por 3 minutos o que apresentou maior rendimento proteico.

A análise da presença de fatores antinutricionais foi planejada a partir da fração albumínica das proteínas extraídas com água destilada. A atividade inibitória de tripsina seria determinada em triplicata para cada extrato, conforme metodologia descrita por Liu et al. (2021), utilizando BAPNA (benzoil-DL-arginina-p-nitroanilida) como substrato. A leitura seria realizada em espectrofotômetro a 410 nm, expressando os resultados em unidades de inibição (UI) por miligrama de peso seco da amostra.

Já a detecção de lectinas seguiria o protocolo de Debray et al. (1981), por meio de testes de hemaglutinação com eritrócitos humanos dos tipos A, B e O a 4%, em presença ou ausência de íons Ca^{2+} , Mg^{2+} ou Mn^{2+} . Para isso, seriam utilizadas placas de microtitulação em fundo V, com diluições seriadas das frações proteicas (25 μl de amostra e 25 μl da suspensão de eritrócitos em cada poço), incubadas por 30 minutos em temperatura ambiente. O resultado seria expresso em Unidade de Hemaglutinação (UH), definida pelo inverso da maior diluição capaz de causar aglutinação visível. Os dados seriam analisados estatisticamente por ANOVA one-way com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), de modo a verificar diferenças entre os extratos.

Entretanto, devido a limitações técnicas do laboratório, não foi possível concluir as análises relacionadas à detecção de inibidores de tripsina e lectinas, sendo necessário o encaminhamento das amostras a outro departamento especializado para posterior avaliação. Na impossibilidade de apresentar resultados experimentais, esse plano de trabalho focou na realização de pesquisa bibliográfica sobre o seu tema central, cujos relatos encontrados na literatura são discutidos a seguir.

Resultados e Discussões

Os alimentos, além de fornecerem nutrientes indispensáveis ao bom funcionamento do organismo, podem conter também compostos classificados como fatores antinutricionais, os quais têm a capacidade de reduzir a biodisponibilidade de nutrientes ou mesmo provocar efeitos adversos à saúde quando consumidos em excesso (Sharma; Gujral, 2019). Entre os mais comuns destacam-se os inibidores de proteínas, oxalatos, ácido fítico, taninos e nitritos, cuja presença merece atenção em estudos voltados ao aproveitamento de partes não convencionais de alimentos, como sementes, uma vez que podem limitar seus potenciais benefícios nutricionais (Benevides et al., 2011).

Os inibidores de tripsina são altamente resistentes ao tratamento térmico, principalmente ao calor a seco, e a estabilidade térmica depende de variadas condições, como a temperatura aplicada, o teor de umidade do alimento, a massa molecular e o nível de estabilização da sua conformação ativa por meio de pontes dissulfeto (Belitz et al., 2012). A inativação ou eliminação desses compostos contribui para o aumento do valor nutritivo dos alimentos, podendo ser alcançada por meio de processos como o próprio tratamento térmico, uso de agentes redutores (como sulfito de sódio e cisteína), fracionamento proteico ou extração alcoólica (Andrade et al., 2010).

Uma pesquisa realizada por Sampaio et al. (2022) avaliou a presença de fatores antinutricionais como os inibidores de tripsina em uma multimistura de farelo de arroz e trigo, fubá, casca de ovo de galinha, sementes de gergelim, abóbora-moranga, girassol e amendoim e pó de folhas verdes (mandioca). Os resultados do estudo mostraram que o tratamento térmico a 200° C por 30 minutos não foi capaz de inativar a atividade inibitória da tripsina, apresentada em 98,81%. Os autores discutiram que, embora a literatura demonstre a eficácia do tratamento térmico na redução ou inativação de fatores antinutricionais, esse método apresenta como desvantagem a perda de nutrientes essenciais, incluindo vitaminas, aminoácidos e outros compostos importantes. Ainda, o

resultado vai de encontro ao exposto anteriormente, já que o tratamento térmico aplicado foi o método a seco, tendo o calor úmido uma eficiência muito maior em relação à inativação de inibidores de protease.

Del-Vechio et al. (2005) verificaram que o cozimento das sementes de abóbora em água fervente por 10 minutos, na proporção de 1 g de sementes para 10 mL de água, mostrou-se mais eficaz do que a tostagem em estufa a 100 °C por 90 minutos, indicando que o cozimento convencional é um método muito mais eficiente para a redução desse fator. A farinha de sementes de abóbora apresentou níveis de 0,88 a 6,24 UTI/mg matéria seca na análise de inibição. Já Bezerra et al. (2014) encontraram cerca de 15 UI/mg de peso seco da atividade inibitória de tripsina em extratos de sementes da goiaba vermelha.

As lectinas são proteínas capazes de reconhecer e se ligar de forma reversível a sítios específicos de carboidratos, sem alterar suas ligações covalentes nem apresentar atividade enzimática (Moreira et al., 1991). Sua ação biológica está diretamente associada a essa interação com carboidratos, sendo a capacidade de promover aglutinação um dos principais indicadores de sua atividade (Povineli; Finardi Filho, 2002). Esse fenômeno ocorre pela formação de pontes entre os sítios ligantes das lectinas e os carboidratos, originando redes visíveis que permitem identificar a presença e intensidade da atividade lectínica (Santana, 2004).

No organismo, os carboidratos presentes na superfície celular desempenham papel fundamental na comunicação, diferenciação, proliferação e interação entre células, tanto em condições fisiológicas quanto patológicas (Pereira, 2005). Nesse contexto, as lectinas podem reconhecer esses resíduos e interferir nesses processos, conforme descrito pela autora. Embora apresentem funções biológicas relevantes, seu consumo também está associado a efeitos adversos, já que além de interagir com carboidratos da parede celular intestinal, podem inibir a ação de enzimas digestivas, como peptidases, dissacaridases, fosfatases e amilases, comprometendo a absorção e utilização de nutrientes (Vasconcelos; Oliveira, 2004). Estudos em animais, como ratos e porcos, indicam que as lectinas se ligam a receptores glicosilados do intestino, prejudicando a digestão e facilitando a absorção de substâncias nocivas, o que lhes confere um caráter potencialmente tóxico devido à sua resistência à degradação proteolítica (Lima, 2009).

Além disso, as lectinas podem exercer efeito hipoglicemiante, já que sua elevada afinidade por açúcares estimula a secreção de insulina pelas células β pancreáticas, ao mesmo tempo em que pode interferir na ação da insulina por meio da interação com resíduos de carboidratos de glicoproteínas (KAVALALI, 2003). Quando ingeridas, parte dessas proteínas é degradada pela pepsina, mas outra parcela resiste e chega ao intestino delgado, onde se liga a carboidratos, interferindo diretamente na absorção de nutrientes (Abreu et al., 2010). Estudos ainda demonstram que as lectinas estão presentes em diferentes sementes e cereais, como no gérmen de trigo, sendo mais detectadas na casca durante a germinação, o que sugere uma maior concentração dessas proteínas nas estruturas externas das sementes (POVINELI; FINARDI FILHO, 2002).

Serquiz et al. (2017), encontraram títulos $>$ que 0,9 UH em extratos obtidos das sementes e casca da atemoia, resultado este que indica que resíduos gerados no processamento desta fruta podem representar fontes promissoras de moléculas bioativas.

Souza et al. (2013) descreveram os efeitos imunomodulatórios das lectinas em diferentes espécies vegetais, evidenciando seu papel na resposta contra infecções, podendo atuar tanto na estimulação quanto na supressão do sistema imune. Os achados de uma pesquisa realizada por Coutiño-Rodriguez et al. (2001) ao analisarem extratos de lectina de frutas como tamarindo, goiaba, manga e ameixa indicaram que apenas a lectina da goiaba apresentou capacidade de se ligar à *E. coli* O157:H7, bloqueando a interação patógeno-hospedeiro e, conseqüentemente, prevenindo o estabelecimento da infecção.

Os trabalhos consultados mostram que tanto os inibidores de proteases quanto as lectinas podem estar presentes nas sementes de melão. Embora possam reduzir a disponibilidade de alguns nutrientes, esses compostos também apresentam propriedades benéficas, como ação antioxidante, antimicrobiana e potencial de uso em alimentos funcionais. Nesse sentido, a caracterização adequada desses compostos torna-se essencial para garantir a segurança do consumo e, ao mesmo tempo, explorar seu potencial funcional na elaboração de novos alimentos.

Conclusão

Este plano de trabalho teve como objetivo investigar a presença de inibidores de tripsina e lectinas em sementes de melão amarelo e cantaloupe, buscando contribuir para o aproveitamento de resíduos do processamento dessa fruta, amplamente divulgada e consumida no Nordeste brasileiro. Apesar das dificuldades técnicas que impediram a finalização das análises em laboratório, foi possível reunir informações relevantes na literatura científica sobre esses compostos, sua ocorrência em sementes e seus possíveis efeitos à saúde.

Dessa forma, a utilização das sementes de melão pode ser uma alternativa promissora para reduzir o desperdício e gerar novos produtos, como farinhas ou bebidas com valor nutricional agregado. Para avançar nessa proposta, é importante dar continuidade às análises laboratoriais em parceria com centros de pesquisa, a fim de confirmar e quantificar a presença de inibidores de tripsina e lectinas. Esses resultados poderão apoiar o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis, além de contribuir para a sustentabilidade no setor agroalimentar.

É importante salientar que a realização de pesquisas em instituições públicas brasileiras frequentemente enfrenta limitações relacionadas à escassez de recursos financeiros, infraestrutura laboratorial insuficiente e dificuldades de acesso a insumos e equipamentos específicos. Esses entraves tornam os processos de investigação mais lentos e, muitas vezes, inviabilizam a conclusão de determinadas etapas experimentais, como ocorreu neste estudo. Ainda assim, tais desafios reforçam a necessidade de investimentos contínuos em ciência e tecnologia, de modo a fortalecer a produção de conhecimento e possibilitar que pesquisas com potencial de impacto social e econômico, como o aproveitamento de resíduos agroindustriais, possam alcançar resultados mais robustos e aplicáveis.

Referências

ABREU, C. M. P.; SILVA, M. C.; CORRÊA, A. D. SANTOS, C. D.; MARCOS, F. C. A. - Extração da lectina da folha de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). e o efeito de cátions divalentes na atividade hemaglutinante. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 30(Supl.1): 103-107, maio 2010. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/cta/a/L3JHKgTfvkxRRMNSjGD9gfG/?lang=pt&format=html>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

ANDRADE, G. F.; DANTAS, M. I. S.; PIOVESAN, N. D.; NUNES, R. M.; BARROS, E. G.; COSTA, N. M. B.; MARTINO, H. S. D. Tratamento térmico adequado proporciona melhoria da qualidade nutricional de farinhas de soja elaboradas a partir de novos cultivares destinados à alimentação humana. *Rev Inst Adolfo Lutz*. 69(4):537-544, 2010. Disponível em: < <https://docs.bvsalud.org/biblioref/ses-sp/2010/ses-19255/ses-19255-2287.pdf>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

BELITZ, H. D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. *Química de los alimentos*, 3ª ed. Oviedo, ASTUR, España: Acribia, 2012.

BENEVIDES, C. M. J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B.; LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. *Segur. Aliment. Nutr.* 18(2):67-79, 2011. Disponível em: <
<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/san/article/view/8634679>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

BESSA, M. A. D.; et al. Bebida alcoólica fermentada de melão (*Cucumis melo* L.): processamento e caracterização. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 21, p. e2017217, 2018. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/bjft/a/pgy6MHpGGHQmLPBjngyXmrJ/?lang=pt>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

BEZERRA, Á. D. DE L.; et al. Atividade antitriptica de proteínas em polpas e sementes de frutas tropicais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, n. 2, p. 408–416, abr. 2014. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/rbf/a/k89LVWqDcKpp8TtsxBvhbbP/?lang=pt>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

Costa, N. D. *A cultura do melão*. 3. ed. rev. e atual. – Brasília, DF : Embrapa, 2017. Disponível em: <
https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1069567/1/PLANTAR_Melaoed032017.pdf>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

COUTIÑO-RODRÍGUEZ, R.; HERNÁNDEZ-CRUZ, P.; GILES-RÍOS, H. Lectins in Fruits Having Gastrointestinal Activity: Their Participation in the Hemagglutinating Property of *Escherichia coli* 0157:H7. *Archives of Medical Research*, vol. 32, pp. 251–257, 2001. Disponível em: <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0188440901002879>>. Acesso em:

23 de agosto de 2025.

Debray, H.; Decout, D.; Strecker, G.; Spik, G.; Montreuil, J. Specificity of 12 lectins towards oligosaccharides and glycopeptides related to N-glycosylproteins. *Eur J Biochem.* 1981. 117:41–55. doi:10.1111/j.1432-1033.1981.tb06300.x. Disponível em: <<https://febs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1432-1033.1981.tb06300.x>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

DEL-VECHIO, G. et al. Efeito do tratamento térmico em sementes de abóboras (*Cucurbita* spp.) sobre os níveis de fatores antinutricionais e/ou tóxicos. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n. 2, p. 369–376, mar. 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cagro/a/6Hp4SqqsNWzFYbSv6GtcQKf/?lang=pt&format=html>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023*. Roma, Itália: FAO, 2023. 384 p. ISBN 978-92-5-138262-2. Disponível em: <<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6e04f2b4-82fc-4740-8cd5-9b66f5335239/content>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

KAVALALI, G. Hypoglycemic activity of *urtica pilulifera* in streptozotocin diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 84, p. 241-245 – Feb, 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037887410200315X>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

LIMA, T. de A. Caracterização de compostos nutricionais e antinutricionais em taiobas (*Xanthosoma* Schott). vi, 63 f., il. Dissertação (Mestrado em Botânica)-Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/7270>>. Acesos em: 23 de agosto de 2025.

Liu, K., Seegers, S., Cao, W., Wanasundara, J., Chen, J., da Silva, A.E., Ross, K., Franco, A.L., Vrijenhoek, T., Bhowmik, P., Li, Y., Wu, X. and Bloomer, S. An International Collaborative Study on Trypsin Inhibitor Assay for Legumes, Cereals, and Related Products. *J Am Oil Chem Soc*, 98: 375-390. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/aocs.12459>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

LONGO, A.M.M. Perdas e desperdício de alimentos no Brasil. Orientadora: Daniela Scarpa Beneli. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Econômicas)-Centro de Economia e Administração, Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022. Disponível em: <<https://coreconsp.gov.br/wp-content/uploads/2023/11/Monografia-Perdas-e-desperdicios-de-alimentos-no-Brasil-.pdf>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

MEDEIROS R. A, et al. Comportamento da secagem de sementes de melão (*Cucumis Melo* L.) em camada fina usando modelos empíricos. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 64001-64009, Ago, 2020. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/15950>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

MOREIRA, R.A. Plant lectins, chemical and biological aspects. *Memórias do instituto Oswaldo Cruz*,v. 86, Rio de Janeiro, OCT. 1991. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/mioc/a/g4xDYNQq57HVVYgHmKB3TsrK/?lang=en>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

PEREIRA, A. S. Avaliação da interação do inibidor de tripsina isolado de sementes de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) com lipopolissacarídeo bacteriano in silico e do efeito antimicrobiano sobre bactérias gram-negativas. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Nutrição), Departamento de Nutrição, Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50432>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

PEREIRA, H. L. S. Aceitabilidade e composição centesimal de bolo de chocolate (tipo mãe benta) isento de glúten e lactose fortificado com farinha de sementes de melão (*Cucumis melo*). f. 51. Ciência dos Alimentos: Pesquisa e Aplicações - Volume 5. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Maranhão, Curso de Nutrição, 2014. Disponível em: <<https://monografias.ufma.br/jspui/handle/123456789/926>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

PEREIRA, S. F. Caracterização dos efeitos biológicos das lectinas de canavalia *brasilensis* e de canavalia ensiformes em preparações do sistema nervoso central e em células tumorais. Tese de mestrado – UFSC, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/101831/222252.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

POVINELI, K. L.; FINARDI FILHO, F., As multiplas funções das lectinas vegetais. Nutrire; rev. Soc. Bras. Alim. Nutr.= J. Brazilian Soc Food Nutr., São Paulo, SP. , v.24, p.135-156, dez., 2002. Disponível em: <<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-356358>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

SAMPAIO, T. M. T. et al. Avaliação nutricional e biodisponibilidade de minerais em multimisturas Nutritional evaluation and bioavailability of minerals in multimixtura. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 2, p. 13349-13368, 2022. Disponível em: <<https://scholar.archive.org/work/sq4g6jmwafflzkmpidd7mu43r4/access/wayback/https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/44362/pdf>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

SANTANA, M. A. Isolamento, propriedades bioquímicas e estudos biológicos da lectina de sementes da *Macrotyloma axillare* (E. Meyer). 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2661>>. Acesso em: 23 de agosto de 2025.

SHARMA, B.; GUJRAL, H. S. Influence of nutritional and antinutritional components on dough rheology and in vitro protein & starch digestibility of minor millets. Food Chem. 299:125115, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S>

CÓDIGO: SB1497

AUTOR: KLEITON PEREIRA FERNANDES GUERRA

ORIENTADOR: MARCIA REGINA DA SILVA PEDRINI

TÍTULO: Desenvolvimento e avaliação das características físicas, químicas, biológicas e sensoriais de um sorvete probiótico (*Saccharomyces boulardii*).

Resumo

Este estudo visou desenvolver uma calda base para sorvete probiótico, incorporando a levedura *Saccharomyces boulardii*. A formulação foi elaborada com água, açúcar, leite em pó integral e liga neutra. A calda foi homogeneizada e submetida à congelação em máquina doméstica, resultando em um produto com baixa incorporação de ar e, consequentemente, textura mais densa. Realizou-se um balanço de massa para caracterizar o processo. As etapas futuras incluem a inoculação do probiótico e a avaliação de suas características físicas, químicas, microbiológicas e sensoriais para verificar a viabilidade da levedura e a aceitação do produto.

Palavras-chave: sorvete, probiótico, *Saccharomyces boulardii*.

TITLE: Development and evaluation of the physical, chemical, biological and sensory characteristics of a probiotic ice cream (*Saccharomyces boulardii*)

Abstract

This study aimed to develop a base mix for probiotic ice cream incorporating the yeast *Saccharomyces boulardii*. The formulation was prepared with water, sugar, whole milk powder, and a neutral stabilizer/emulsifier blend. The mix was homogenized and frozen in a domestic ice cream machine, resulting in a product with low air incorporation and a denser texture. A mass balance was performed to characterize the process. Future steps include the inoculation of the probiotic and the evaluation of its physical, chemical, microbiological, and sensory characteristics to verify yeast viability and product acceptance.

Keywords: ice cream, probiotic, *Saccharomyces boulardii*.

Introdução

O sorvete, definido pela legislação brasileira como um produto congelado à base de emulsões ou misturas aquosas, apresenta-se como uma matriz alimentar versátil para a adição de ingredientes funcionais (Brasil, 2019). Seu consumo amplo e a elevada aceitação sensorial em diferentes faixas etárias tornam-no um veículo atrativo para probióticos, microrganismos vivos que, quando ingeridos em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde (Holzapfel & Schillinger, 2002; Pedroso, 2011; FAO/WHO, 2002; Hill et al., 2014).

Tradicionalmente, espécies de *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* são as mais utilizadas em formulações alimentícias funcionais. Contudo, a levedura *Saccharomyces boulardii* tem se destacado devido à sua robustez e às evidências clínicas que demonstram eficácia no tratamento e prevenção de diversos tipos de diarreia, incluindo a associada ao uso de antibióticos (McFarland, 2010; Kelesidis & Pothoulakis, 2012).

Apesar do potencial, a incorporação de probióticos em gelados comestíveis apresenta desafios tecnológicos, uma vez que os processos de congelamento e armazenamento podem comprometer a viabilidade celular e, conseqüentemente, a funcionalidade do produto (Shah, 2000; Cruz et al., 2009). Para que alegações de propriedades funcionais sejam comunicadas ao consumidor, torna-se necessário comprovar a concentração mínima de células viáveis, em conformidade com a Instrução Normativa nº 161/2022 da ANVISA (Brasil, 2022) e diretrizes internacionais (FAO/WHO, 2002; Hill et al., 2014).

Nesse contexto, este estudo concentra-se na etapa inicial crítica: o desenvolvimento e a padronização de uma calda base de sorvete, que servirá como matriz para a futura incorporação de *S. boulardii*. A definição de parâmetros físico-químicos adequados é essencial não apenas para assegurar a qualidade sensorial e tecnológica do produto, mas também para garantir condições que favoreçam a sobrevivência do probiótico durante o processamento e a estocagem, consolidando o sorvete como um veículo inovador e eficiente de microrganismos funcionais.

Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em escala laboratorial no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Central.

Para o desenvolvimento da calda base de sorvete, seguiu-se o conceito de gelado comestível estabelecido pela legislação (BRASIL, 1999). Utilizou-se uma formulação com a seguinte composição mássica: 61,5% de água, 18,0% de açúcar cristal, 20,0% de leite em pó integral e 0,5% de liga neutra comercial. Para a produção de 1,0 kg de calda, os ingredientes foram pesados e combinados nas seguintes massas: 615 g de água, 180 g

de açúcar, 200 g de leite em pó e 5 g de liga neutra. A homogeneização da mistura foi realizada em liquidificador industrial para garantir a completa dissolução dos ingredientes e a formação de uma emulsão estável. A calda homogeneizada foi então submetida à congelação e aeração em uma máquina de sorvete doméstica (marca EOS, modelo 03). A máquina atinge a temperatura de $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ e, para determinar o momento ideal de retirada do sorvete, a temperatura da calda foi monitorada com um termômetro infravermelho até alcançar $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, condição considerada adequada para a retirada e posterior armazenamento. A análise sensorial e a inoculação do probiótico, que exigirão a comprovação da concentração mínima de células viáveis (SHAH, 1995), estão previstas para etapas subsequentes do estudo.

Resultados e Discussões

O processamento de 1,0 kg (aproximadamente 1,0 L, considerando a densidade da calda $\approx 1\text{ kg/L}$) de calda base na máquina de sorvete doméstica resultou em 1,5 L de produto final. Este acréscimo de volume é atribuído à incorporação de ar durante a agitação e congelação, um fenômeno conhecido como overrun.

Para caracterizar o processo, realizou-se um balanço de massa considerando a entrada de ar.

Massa de Entrada (m_{calda}): 1,0 kg (1000 g). Volume de Saída (V_{sorvete}): 1,5 L. Densidade do Sorvete (ρ_{sorvete}): Assume-se que a massa de ar incorporado é desprezível comparada à massa total. Portanto, a massa de saída (m_{sorvete}) $\approx m_{\text{calda}} = 1,0\text{ kg}$.

O overrun pode ser calculado de duas formas:

Volumétrico (mais comum na indústria): Mede o aumento percentual de volume.

Mássico (mais preciso): Considera a fração mássica de ar incorporado. A massa de ar (m_{ar}) na mistura final é calculada pela diferença entre o volume de sorvete e o volume que a calda sozinha ocuparia no sorvete. Assumindo $\rho_{\text{calda}} \approx 1,1\text{ kg/L}$ (devido aos sólidos dissolvidos):

Convertendo para massa, considerando a densidade do ar $\approx 0,0012\text{ kg/L}$ (no processo, o ar é incorporado a pressão atmosférica):

(valor desprezível, confirmando a aproximação $m_{\text{sorvete}} \approx m_{\text{calda}}$).

(Este valor confirma que quase toda a incorporação é de volume, não de massa).

Este valor de overrun volumétrico de 50% é considerado baixo para sorvetes comerciais, que frequentemente atingem valores superiores a 80-100% devido a equipamentos mais eficientes. Este resultado é diretamente influenciado pela baixa rotação e capacidade de aeração da máquina doméstica utilizada. Conforme a classificação da ANVISA (1999), a formulação desenvolvida se enquadra na categoria

de sorvete tradicional, e a baixa incorporação de ar resultou em um produto com textura mais densa e firme, aproximando-se de características encontradas em sorvetes premium. Do ponto de vista do desenvolvimento probiótico, um overrun moderado pode ser vantajoso. Uma matriz menos aerada e mais densa pode oferecer maior proteção criogênica às células de *S. boulardii* durante o estresse do congelamento, reduzindo a formação de cristais de gelo que danificam as leveduras. Além disso, resulta em uma maior concentração de células viáveis por grama de sorvete (já que há menos ar "diluindo" a massa), facilitando o atendimento ao requisito mínimo de 10^6 UFC/g estabelecido na literatura (SHAH, 1995). O balanço de massa realizado foi essencial para caracterizar o processo e estabelecer um parâmetro base (1:1,5 - calda:sorvete) crítico para o planejamento da inoculação do probiótico em etapas futuras.

Conclusão

Conclui-se que foi possível desenvolver e processar com sucesso uma calda base para sorvete, dentro dos parâmetros definidos para gelados comestíveis (BRASIL, 1999), utilizando equipamento doméstico. O processo resultou em um produto com baixa incorporação de ar (overrun de ~50%), caracterizando um sorvete de textura densa, conforme desejado para a aplicação proposta. Esta matriz mostra-se promissora para a incorporação da levedura probiótica *Saccharomyces boulardii*, pois a densidade pode conferir maior proteção à levedura durante o congelamento. Recomenda-se, para a continuação da pesquisa, a inoculação do probiótico na calda resfriada, seguida da congelamento. É imperativo realizar análises microbiológicas para acompanhar a viabilidade celular durante o armazenamento, assegurando que a concentração mínima de 10^6 UFC/g (SHAH, 1995) seja mantida até o prazo de validade, além de testes sensoriais para avaliar a aceitação do produto final junto aos consumidores, validando assim seu potencial como alimento funcional.

Referências

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 267, de 25 de setembro de 2019. Dispõe sobre os requisitos para gelados comestíveis e preparados para gelados comestíveis. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 set. 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa IN nº 161, de 1º de julho de 2022. Estabelece as listas de alegações de propriedade funcional e de saúde aprovadas para alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 jul. 2022.

CRUZ, A. G. et al. Ice cream as a probiotic food carrier. *Food Research International*, v. 42, n. 9, p. 1233–1239, 2009.

FAO/WHO. Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Report of a Joint FAO/WHO Working Group, London, 30 Apr.–1 May 2002. Disponível em: https://isappscience.org/wp-content/uploads/2019/04/probiotic_guidelines.pdf. Acesso em: 31 ago. 2025.

HILL, C. et al. The ISAPP consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, v. 11, p. 506–514, 2014. DOI: 10.1038/nrgastro.2014.66.

HOLZAPFEL, W. H.; SCHILLINGER, U. Introduction to pre- and probiotics. *Food Research International*, v. 35, n. 2–3, p. 109–116, 2002.

KELESIDIS, T.; POTHOUIAKIS, C. Efficacy and safety of the probiotic *Saccharomyces boulardii* for the prevention and therapy of gastrointestinal disorders. *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, v. 5, n. 2, p. 111–125, 2012. DOI: 10.1177/1756283X11428502.

McFARLAND, L. V. Systematic review and meta-analysis of *Saccharomyces boulardii* in adult patients. *World Journal of Gastroenterology*, v. 16, n. 18, p. 2202–2222, 2010.

PEDROSO, A. A. M. Probióticos, prebióticos e simbióticos. In: MURAO, H. (Ed.). *Medicina Nutricional*. São Paulo: Sarvier, 2011. cap. 13, p. 189–204.

SHAH, N. P. Probiotic bacteria: selective enumeration and survival in dairy foods. *Journal of Dairy Science*, v. 83, n. 4, p. 894–907, 2000.

CÓDIGO: SB1555

AUTOR: SAULO QUEIROZ FERNANDES CIRILO DA SILVA

ORIENTADOR: DANY GERALDO KRAMER CAVALCANTI E SILVA

TÍTULO: PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - RECURSO AUDIOVISUAL PARA EDUCAÇÃO EM SAÚDE NO ACONSELHAMENTO PRÉ-TESTE RÁPIDO ÀS INFECÇÕES SEXUALMENTE TRANSMISSÍVEIS NA ATENÇÃO PRIMÁRIA À SAÚDE.

Resumo

INTRODUÇÃO: A Organização Mundial de Saúde declarou em 2025 que por dia mais de 1 milhão de pessoas no mundo são infectadas por Infecções Sexualmente Transmissíveis curáveis, tem-se descentralizado na Atenção Primária à Saúde, temos disponível no Brasil os testes rápidos. Assim, o foco do projeto surge como uma validação de um recurso audiovisual próprio, em formato de vídeo, de uma tese de doutorado de um Enfermeiro visando o fortalecimento das medidas de aconselhamento pré-teste rápido na APS para facilitar o processo de letramento em saúde da população e auxiliar nas etapas da testagem, almejando a promoção de saúde pública. OBJETIVO: Validar um recurso audiovisual para educação em saúde no aconselhamento pré-teste rápido de IST na Atenção Primária à Saúde. METODOLOGIA: O estudo é feito sob uma base de análise quantitativa mediante a uma pesquisa realizada na APS do município de Natal-RN, em que ao término da reprodução do recurso audiovisual e aconselhamento pré-teste rápido o usuário passa por uma entrevista em que ele julga os aspectos do vídeo como objetivos e organização, bem como os resultados do teste rápido para ISTs. CONSIDERAÇÕES FINAIS: A amostra total foi de 114 usuários de uma população desconhecida e que por livre demanda optaram por participar da coleta dos testes rápidos e responder os questionamentos, comprovou-se que o vídeo possui relevância e que ratificam o benefício de um recurso audiovisual próprio.

Palavras-chave: Infecções Sexualmente Transmissíveis; Atenção Primária à Saúde; Webcast.

TITLE: AUDIOVISUAL RESOURCE FOR HEALTH EDUCATION IN PRE-TEST COUNSELING FOR RAPID TESTING FOR SEXUALLY TRANSMITTED INFECTIONS IN PRIMARY HEALTH CARE.

Abstract

INTRODUCTION: The World Health Organization declared in 2025 that more than 1 million people worldwide are infected with curable sexually transmitted infections every day. Primary health care has been decentralized, and rapid tests are available in Brazil. Thus, the focus of the project is to validate an audiovisual resource, in video format, from a nurse's doctoral thesis aimed at strengthening pre-rapid test counseling measures in PHC to facilitate the process of health literacy among the population and assist in the testing stages, with a view to promoting public health. **OBJECTIVE:** To validate an audiovisual resource for health education in pre-rapid STI testing counseling in Primary Health Care. **METHODOLOGY:** The study is based on quantitative analysis through a survey conducted in PHC in the municipality of Natal-RN, in which, at the end of the audiovisual resource playback and rapid pre-test counseling, the user undergoes an interview in which they evaluate aspects of the video such as objectives and organization, as well as the results of the rapid test for STIs. **FINAL CONSIDERATIONS:** The total sample consisted of 114 users from an unknown population who voluntarily chose to participate in the rapid testing and answer the questions. The video proved to be relevant and confirmed the benefits of having an audiovisual resource of this kind.

Keywords: Sexually Transmitted Diseases; Primary Health Care; Webcast.

Introdução

A Organização Mundial de Saúde (OMS) declarou em 2025 que por dia mais de 1 milhão de pessoas no mundo são infectadas por Infecções Sexualmente Transmissíveis (ISTs) curáveis, e que sua maioria são assintomáticas (OMS, 2025). Dentre as infecções curáveis, inclui-se a sífilis, doença para a qual existe diagnóstico por meio do Teste Rápido (TR) na Atenção Primária à Saúde (APS) assim como existe a disponibilidade de TR para HIV, hepatites B e C. Em janeiro de 2025, o Ministério da Saúde (MS) pactuou o projeto com implementações de ações para a eliminação das hepatites virais no Brasil até o ano de 2030. As ações pactuadas tem por objetivo diagnosticar 90% das pessoas, tratar 80% das pessoas diagnosticadas, reduzir 65% a mortalidade pela doença, como também eliminar a transmissão vertical (transmitida durante a gestação, parto ou amamentação) da infecção por hepatites (Brasil, 2025). Sobre o HIV, o Vírus da Imunodeficiência Humana em português, no Brasil entre 2007 e junho de 2024, foram notificados no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (Sinan) 541.759 casos de infecção pelo vírus, sendo o nordeste a segunda região com maior número de notificações. Comparando os dados de 2020, ano impactado pela pandemia de covid-19, com os de 2023, o número de casos de infecção pelo HIV no Brasil apresentou um aumento de 24,1%, porém na última década, houve uma queda de 32,9% no coeficiente padronizado de mortalidade por aids (Ministério da Saúde, 2024). Possivelmente atribuído ao avanço nas terapias anti-retrovirais e promoção de saúde às pessoas vivendo com HIV/Aids. Referente a sífilis, uma infecção causada pela bactéria *Treponema pallidum*, entre o período de 2010 a junho de 2024, no Brasil, foram notificados 1.538.525 casos de sífilis adquirida, sendo o nordeste a terceira região com maior registro de notificações, a sífilis desde 2016 é considerada um problema de saúde pública no país, e é evidenciado pelo aumento de 39.648 casos notificados em 2013 para 242.826 casos notificados em 2023, um crescimento em mais de 6 vezes (Ministério da Saúde, 2024). Apesar de fornecer um rápido diagnóstico, o processo de

testagem é composto por três etapas distintas, aconselhamento pré-teste rápido, teste e aconselhamento pós-teste. O aconselhamento é uma tecnologia leve em saúde e que pode ser utilizada em diferentes programas educacionais, assistenciais e de saúde, o processo é feito com a base em uma escuta ativa que estabelece confiança entre o profissional e usuário, dessa forma o usuário toma condições para que avalie seus próprios riscos, tome decisões e encontre maneiras realistas de enfrentar seus problemas relacionados às ISTs. É indispensável que o profissional possua habilidades técnicas e conhecimentos acerca do tema e tenha a possibilidade de oferecer suporte emocional, orientações e avaliações de riscos (Rocha KB, et al., 2018). Os TR são uma tecnologia relevante para o rastreamento, testagem e controle da cadeia de transmissão das ISTs, por meio de uma coleta da amostra de sangue, após uma punção digital, o tecido líquido é coletado por pipetas capilares e distribuído em plataformas que disponibilizam os resultados em até 30 minutos e que não dependem de uma estrutura laboratorial (Ministério da Saúde, 2021). Assim, o foco do projeto surge como a validação de um recurso audiovisual próprio, em formato de vídeo, objeto de estudo de uma tese de doutorado de um Enfermeiro visando o fortalecimento das medidas de aconselhamento pré-teste rápido na APS trazendo um background para auxiliar os profissionais da testagem no processo de letramento em saúde da população e auxiliar nas etapas posteriores contribuindo para cessar a cadeia de transmissão na população, por meio do diagnóstico precoce e estruturado de maneira que não vise substituir a etapa de aconselhamento do profissional, mas sim auxiliar o processo de trabalho.

Metodologia

Hipóteses H0 – O recurso audiovisual não contribui enquanto ferramenta educacional no aconselhamento pré-teste rápido. H1 – O recurso audiovisual é viável como ferramenta educacional no aconselhamento pré-teste rápido. Objetivo Validar um recurso audiovisual para educação em saúde no aconselhamento pré-teste rápido de IST na Atenção Primária à Saúde. Apresentação A pesquisa é parte integrante da tese de doutorado do Enfermeiro Túlio César, que atua na APS do município de Natal, o projeto tem como objetivo validar um recurso audiovisual para auxiliar na etapa de aconselhamento pré-teste rápido para ISTs na APS, o processo de validação ocorre por meio da coleta de dados com opiniões e metrologia em três diferentes grupos, o grupo de usuários do serviço de saúde, os Enfermeiros, da APS e com juízes especialistas. Este relatório apresenta um resultado parcial da análise realizada por usuários. A mesma utilizou de base um vídeo que foi produzido como material do mestrado profissional do mesmo Enfermeiro que é co-orientador na pesquisa de Iniciação Científica, construído com recurso próprios utilizando programas digitais como o Adobe Illustrator e Adobe Premiere, as imagens utilizadas no vídeo foram encontradas em bancos digitais e livres de direitos autorais. O áudio utilizado é reconhecido tecnicamente como do tipo BG. O vídeo se encontra disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=NESYgT9eQXU> (Araújo, 2019). O projeto possui perspectiva do tipo metodológica com abordagem quantitativa. A pesquisa metodológica norteia a obtenção e organização de dados por meio de métodos rigorosos para o desenvolvimento e validação de novos instrumentos (Polit; Beck, 2019). Na enfermagem, segundo Teixeira (2019), a utilização da pesquisa metodológica pode ser classificada em quatro modalidades, dentre elas, o desenvolvimento de tecnologias assistenciais, gerenciais e/ou educacionais, também classificadas como materiais ou imateriais. A abordagem quantitativa, por meio da

Escala Likert, permite a coleta de dados quantitativos ou numéricos por meio do uso de medições de grandezas e obtém-se por meio da metrologia, números com suas respectivas unidades. Esta abordagem gera conjuntos ou massas de dados que podem ser analisados por meio de técnicas matemáticas aplicáveis a algum processo, nas áreas de saúde, os métodos quantitativos permitem utilizar técnicas estatísticas para realizar previsões em relação a algum fenômeno em estudo (Pereira et. al., 2018). Aspectos éticos O projeto da tese de Doutorado, o que gerou possibilidade dessa pesquisa, foi submetido e aprovado pela comissão do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (CEP-HUOL), parecer número 7.365.506. A pesquisa foi desenvolvida de acordo com os preceitos determinados na Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde. Também evidência-se que os participantes foram esclarecidos sobre a pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), mantendo o sigilo e garantindo o anonimato, os participantes foram identificados por números e os dados foram armazenados em uma planilha do Excel. Cenário e Coleta de dados O estudo acontece na Atenção Primária à Saúde da cidade de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte. Para a coleta de dados se utiliza de um instrumento validado em uma dissertação da Universidade Federal Fluminense (UFF) (Padilha, 2015), tal instrumento foi elaborado pelo grupo de pesquisa Práticas Educativas em Saúde e Cuidado na Amazônia, da Universidade do Estado do Pará (UEPA) vinculado ao Laboratório de Tecnologias Educativas (Teixeira e Mota, 2011). O instrumento utilizado para coleta é um formulário que contempla cinco domínios com 15 perguntas fechadas e uma pergunta aberta (Anexo 1). A coleta de dados inicial foi realizada no Distrito de Saúde Norte II nas USF de Parque dos Coqueiros e USF Panatis. Durante toda a coleta de dados do projeto foram realizados todos os quatro testes rápidos ofertados na APS para todos os usuários, sendo eles os testes rápidos para HIV, Sífilis (Teste treponêmico), Hepatite B e Hepatite C. As unidades do Distrito de Saúde Norte II foram escolhidas devido a USF Parque dos Coqueiros ser campo de atuação do Enfermeiro que desenvolveu o recurso audiovisual (utilizada para a realização dos testes pilotos) e a USF Panatis foi a segunda escolhida por ser a unidade que mais realizou testes rápidos no distrito no ano de 2024. Em relação aos usuários, a população englobou todos aqueles que compareceram no serviço de saúde e a amostra foi composta por todos aqueles que desejaram realizar teste rápido para IST no cenário do estudo. Neste relatório serão explorados os resultados acerca dos aspectos sociodemográficos, domínios “objetivos” e “organização” do vídeo, assim como os resultados dos testes rápidos coletados após a apresentação do vídeo. As perguntas foram respondidas com base na opinião dos usuários entrevistados. As perguntas fechadas utilizam a escala de likert sendo: Adequada (1), Neutro (2), e Inadequado (3). Após o aconselhamento pré-teste, os usuários eram testados e ocorria a análise e interpretação dos resultados dos testes rápidos, junto de um aconselhamento pós-teste e na sequência foi entregue o documento com registro do resultado do teste e comprovando os resultados aos usuários seguindo o conforme protocolos do Ministério da Saúde. Amostra Para a amostra, foi-se utilizado uma fórmula de cálculo amostral para população desconhecida, $n = D * p * q / e^2$, em que “n” é o tamanho da amostra, “D” é o nível de confiança, “p” é a proporção de conformidade, “q” é a proporção de não conformidade e “e” é o erro amostra, para tal $D = 2$, indica dois desvios, isto é, a pesquisa apresenta 95,45% de confiança, $p = 0,5$ e $q = 0,5$ significa que foi considerado a variação máxima, o que implica em um número maior da amostra, e com um erro amostral (e) de 5% (Pinheiro et al, 2012). A amostra sendo de 400 usuários.

Resultados e Discussões

Até a data de 23/08/2025, 114 usuários compareceram às unidades para realização de teste rápido e responderam a pesquisa. Entre os usuários do serviço que participaram da pesquisa, o perfil sociodemográfico deles foi característico por predominância de gênero masculino com 58 (50,88%) e 56 (49,12%) do gênero feminino, essa predominância pode-se justificar por dois encontros que marcaram a coleta de dados ser um dia de ação voltada à saúde do homem. Uma vez que segundo Gutmann et al. (2022), a população predominante nas unidades de saúde costumam ser composto por mulheres, justificado pelo número de ações, - como políticas públicas que instituem no mínimo 7 consultas de pré-natal -, de saúde das Unidades Básicas de Saúde são voltadas para o gênero feminino e até jornadas de trabalho. Com relação à raça/cor que os usuários se identificam (Gráfico 1), 64 (56,14%) dos usuários se autodeclararam pardos, 30 (26,32%) brancos e 20 (17,54%) pretos. O estado civil dos entrevistados se encontram como 46 (40,35%) casados, 42 (36,84%) solteiros, 15 (13,16%) como união estável, 8 (7,02%) divorciados e 3 (2,63%) viúvos. A relação raça/cor é próxima ao que indica o senso de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, com 45,3% da população brasileira se autodeclarando parda, 43,5% se autodeclara branca e 10,2% se autodeclara preta (IBGE, 2022). Para a escolaridade dos entrevistados (Gráfico 2), 48 (42,11%) com ensino médio completo, 25 (21,93%) com ensino fundamental incompleto, 18 (15,79%) com ensino médio incompleto, 8 (7,02%) com ensino superior completo, 5 (4,39%) do total entrevistado possui pós-graduação, em paridade com 4 (3,51%) entre os usuários com ensino superior incompleto e 4 (3,51%) com fundamental completo e 2 (1,75%) analfabetos. Entre os usuários, sua maioria, 60 (52,63%) entrevistados não havia realizado nenhum teste rápido para ISTs até a coleta (Gráfico 3), e entre os que haviam passado por uma testagem anterior 29 (53,70%) alega não ter recebido aconselhamento pré-teste nos outros momentos de testagem (Gráfico 4). A amostra para o primeiro eixo de “Objetivos” no vídeo, o tópico do formulário foi dividido em três perguntas, sendo elas, respectivamente, 1.1 “O vídeo ajuda no aconselhamento pré-teste rápido?”, 1.2 “O vídeo consegue repassar informações sobre o teste rápido e as ISTs que são identificadas no vídeo?” e 1.3 “Você conseguiu entender os assuntos abordados no vídeo?”. Quando questionados se “O vídeo ajuda no aconselhamento pré-teste rápido?” 112 (98,25%) julgaram como “Adequado” e duas (1,75%) respostas julgaram como “Neutro”. Para o tópico 1.2, “O vídeo consegue repassar informações sobre o teste rápido e as ISTs que são identificadas no vídeo?”, 111 (97,37%) pessoas julgaram como “Adequado” para a resposta e três (2,63%) julgaram como “Neutro”. Para o último campo 1.3, “Você conseguiu entender os assuntos abordados no vídeo?”, 107 (93,86%) apontaram como “Adequado” para o campo e sete (6,14%) responderam julgando como “Neutro”. Tais resultados demonstram uma inclinação de que o vídeo comunica os seus objetivos de maneira clara e que possui relevância para o contexto do aconselhamento pré-teste. O eixo de “Organização” no vídeo, refere-se à sua organização geral, estrutura, estratégia de apresentação, coerência e formatação, o eixo foi dividido em quatro perguntas, sendo elas, respectivamente, 2.1 “O vídeo é atraente/interessante?”, 2.2 “O tamanho do título/textos no vídeo está adequado?”, 2.3 “O tempo do vídeo está adequado?” e 2.4 “Os temas retratam aspectos importantes?”. Ao serem questionados se “O vídeo é atraente/interessante?”, 113 (99,12%) julgaram como “Adequado” e uma (0,88%)

julgou como “Neutro”. Para o tópico 2.2, “O tamanho do título/textos no vídeo está adequado?” 112 (98,25%) julgaram como “Adequado” e duas (1,75%) julgaram como “Neutro”. No tópico 2.3, em “O tempo do vídeo está adequado?” 111 (97,37%) apontaram como “Adequado” e três (2,63%) julgaram como “Neutro”. Para o último campo 2.4, em “Os temas retratam aspectos importantes?”, as respostas em sua totalidade 114 (100%) julgaram o vídeo como “Adequado”, achado que ratifica a relevância do vídeo. Fazendo um cruzamento entre a escolaridade e as respostas ao formulário. Foram selecionadas as perguntas se “O vídeo ajuda no aconselhamento pré-teste rápido?” (O item 1.1) e “Você conseguiu entender os assuntos abordados no vídeo?” (O item 1.3). No eixo de “Objetivos”, para o item 1.1 entre as duas respostas que julgaram como “Neutro” um dos entrevistados tinha como escolaridade o fundamental incompleto e o ensino médio completo. A escolaridade foi o caracterizador selecionado para o cruzamento devido a situação de escolaridade parecer influenciar nas relações de importância que a população dá a uma linha de tratamento ou aconselhamentos sobre a saúde em geral (LIMA-COSTA, 2004). Ainda no eixo de “Objetivos”, mas para o item 1.3 o indicador sociodemográfico selecionado foi o de faixa etária devido a hipótese de que as pessoas idosas poderiam ter uma dificuldade maior devido ao letramento digital devido a alta expansão das tecnologias digitais no final do século XX e até então no século XXI, mas o acompanhamento do letramento digital não aumentou na mesma velocidade, e devido a falta de investimentos podem apresentar um desafio maior (PESSOA et al., 2022). Dessa forma, os dados do cruzamento feitos pela idade e as sete respostas como “Neutro” para o campo 1.3 foram de que as pessoas que tiveram algum nível de entender os assuntos abordados no vídeo por esse ou outros motivos foi de uma pessoa para o grupo menor que 25 anos, uma pessoa para o grupo de 25 a 30 anos, duas pessoas para o grupo 30 a 35 anos e de três pessoas para o grupo de 70 anos ou mais. Por ter a característica de ser uma pergunta fechada, não houve o questionamento da razão que o entendimento não foi “Adequado”, mas uma das hipóteses foi o dado ao nível de letramento digital. O aconselhamento pré-teste rápido é uma parte fundamental do processo de trabalho, uma vez que é uma tecnologia leve, a qual utiliza de práticas e conhecimentos teóricos e possui a capacidade de criar um vínculo entre o profissional e o usuário. Por conseguinte, sendo feita a etapa de aconselhamento o teste tende a fluir com maior facilidade e promover melhores desfechos, mesmo em situações atípicas como a reação para algum dos testes (BONES ROCHA et al., 2018). Seguindo a etapa de testagem e coleta das amostras, foram realizados ao todo 455 testes rápidos, um usuário não optou por fazer o teste rápido de HIV por já saber sua soropositividade para o vírus. Entre os resultados dos testes de todas as amostras, cinco casos foram reagentes para sífilis, sendo que um já tinha diagnóstico prévio e foi acusado como uma cicatriz sorológica. Para a definição de diagnóstico de sífilis é necessário relacionar dados clínicos com resultados dos testes diagnósticos, teste treponêmico (teste rápido) e não treponêmico (VDRL), bem como o histórico de infecções passadas (Ministério da Saúde, 2021). Entre os quatro pacientes restantes com infecção latente de sífilis, o primeiro com teste rápido reagente em 19/07/2025, após encaminhamento para o exame de VDRL com resultado em 31/07/2025 a sua amostra foi reagente em 1/1 e encaminhado para o tratamento com penicilina 7.200.000 UI, houve adesão do tratamento e ele seguiu com as três doses (2.400.000 UI em cada momento) do tratamento a serem realizadas, a dose um foi administrada em 12/08/2025, a dose dois em 19/08/2025 e a terceira deve ser realizada preferencialmente até 29/08/2025. O segundo usuário com infecção latente para sífilis foi diagnosticado com teste rápido reagente em 08/08/2025, seu resultado de VDRL no

dia 12/08/2025 foi reagente em 1/16 e o tratamento prescrito foi de penicilina 7.200.000 UI. O paciente aderiu ao tratamento e recebeu a primeira dose de penicilina em 15/08/2025, a segunda dose em 22/08/2025 e a terceira dose foi administrada em 29/08/2025. O mesmo segue em acompanhamento fazendo o monitoramento através do VDRL. O terceiro igualmente recebeu o diagnóstico de teste rápido reagente em 08/08/2025 e VDRL reagente sem data especificada com o teste não treponêmico em uma fração de 1/128 com tratamento prescrito de 7.200.00 UI. Igualmente aderiu ao tratamento, e recebeu a sua primeira dose de penicilina em 18/08/2025, a segunda dose em 25/08/2025 e a terceira dose aprazada para 04/09/2025. O último usuário com sífilis recebeu um resultado reagente para o teste rápido em 23/08/2025, porém seu exame de VDRL foi “não reagente”. Tais resultados demonstram que através de um teste rápido é possível promover um desfecho positivo, como um tratamento, para o contexto do manejo das ISTs, após dados resultados, em até seis meses a um ano, contando com o tratamento adequado esses usuários poderão receber um diagnóstico de cura para a sífilis. O Ministério da Saúde em seu protocolo clínico para Atenção Integral a pessoas com ISTs recomenda a testagem e o rastreio ativo das ISTs para toda a população, disponibilizando um calendário e série de recomendações, pessoas ativas sexualmente e heterossexuais devem buscar anualmente realizar o teste, outras populações como homens que fazem sexo com homens, profissionais do sexo, transsexuais e travestis, pessoas que fazem o uso abusivo de álcool devem fazer o rastreio semestralmente, e em condições específicas deve-se fazer o teste de acordo com a janela imunológica da doença (Ministério da Saúde, 2022). Nesse sentido, o diagnóstico pode ser de impacto negativo ao primeiro momento e carregado por muitos vieses, mas ele é um importante passo ao tratamento e a qualidade de vida do usuário. Uma vez que, com acesso ao diagnóstico o tratamento pode ser prescrito e muitas vezes iniciado na própria unidade de saúde que atendeu aquele caso, e quanto mais precoce o diagnóstico, maior a chance de promover qualidade de vida, e no caso da sífilis e Hepatite C, cura, para o usuário (Ministério da Saúde, 2022).

Conclusão

A etapa de aconselhamento pré-teste é um ponto fundamental como prática no teste rápido, e por muitas vezes acaba não recebendo atenção devido a sobrecarga de profissionais e vários outros fatores na APS, por isso a necessidade de validar um instrumento de aconselhamento, que não substitui o aconselhamento e as orientações de um profissional de saúde capacitado, serve de apoio para trazer os pontos-chaves que precisam ser informados e abrindo espaço para o diálogo e esclarecimento de possíveis dúvidas. Inicialmente demonstrou-se uma excelente aprovação do recurso e aceitação até então pela parte dos usuários, que também sentiram-se à vontade para fazer trocas de conhecimentos após o momento de exposição. O recurso de áudio visual não oferece quase nenhum risco ou dano ao usuário e apresenta muitos benefícios para todo o processo. Dadas as extrações dos dados e análises, as próximas etapas deverão ser de aprimoramento e considerações acerca do conteúdo abordado no vídeo, de forma que venha a reformular a versão já existente e entregar um recurso aprimorado, atualizado para atender a todas as demandas da população que realiza e/ou deve realizar o teste rápido. O vídeo é e seguirá sendo um possível aliado para todos os profissionais da APS que trabalham e tem o compromisso de oferecer o melhor serviço possível à população.

Dessa forma, é desejado que este possa ser um passo para uma cascata de ferramentas, ações e tecnologias para o auxílio quando se fala em saúde.

Referências

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Sexually transmitted infections (STIs) [Internet]. 29 maio 2025. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sexually-transmitted-infections-\(stis\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sexually-transmitted-infections-(stis)). Acesso em: 12 ago. 2025. BRASIL. Ministério da Saúde. Governo Federal avança nas ações para eliminação das hepatites virais no país [Internet]. 30 jan. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2025/janeiro/governo-federal-avanca-nas-acoes-para-eliminacao-das-hepatites-virais-no-pais>. Acesso em: 12 ago. 2025. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Doenças de Condições Crônicas e Infecções Sexualmente Transmissíveis. Boletim epidemiológico - HIV e Aids 2024 [Internet]. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/aids/pt-br/central-de-conteudo/boletins-epidemiologicos/2024/boletim_hiv_aids_2024e.pdf/view. Acesso em: 12 ago. 2025. BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Doenças de Condições Crônicas e Infecções Sexualmente Transmissíveis. MANUAL TÉCNICO PARA O DIAGNÓSTICO DA SÍFILIS. , 2021 [Internet]. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/s/sifilis/publicacoes/manual-tecnico-para-o-diagnostico-da-sifilis.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Doenças de Condições Crônicas e Infecções Sexualmente Transmissíveis. Boletim Epidemiológico - Sífilis (2024) [Internet]. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/aids/pt-br/central-de-conteudo/boletins-epidemiologicos/2024/boletim_sifilis_2024_e.pdf/view. Acesso em: 12 ago. 2025. BRASIL. Ministério da Saúde. Aconselhamento em DST/HIV/Aids para a atenção básica. Ministério da Saúde: Brasília, DF, 2003. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_simplificado.pdf. Acesso em: 12 ago. 2025. POLIT, D. F.; BECK, C.T. Fundamentos de Pesquisa em Enfermagem: avaliação de evidências para a prática de enfermagem [recurso eletrônico]. 9 ed. Porto Alegre, Artmed, 2019. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=irZwDwAAQBAJ&pg=PA1950&hl=pt-BR&source=gbv_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 16 ago. 2025. TEIXEIRA, E. Interfaces participativas na pesquisa metodológica para as investigações em enfermagem. Rev Enferm UFSM [Internet]; v. 9, e. 1. 2019, Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179769236334>. Acesso em 16 ago. 2025. PEREIRA, A. S., et. al. Metodologia da pesquisa científica [recurso eletrônico]. 1. ed. – Santa Maria, RS: UFSM, NTE, 2018. PADILHA, J. M. F. O. Tecnologia educacional como estratégia para o uso de luvas pelos profissionais de enfermagem visando a precaução de contato. 2015. Dissertação (mestrado). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015. TEIXEIRA, E.; MOTA V. M. S. S. Tecnologias educacionais em foco. São Caetano do Sul: Editora; 2011. Gutmann VLR, Santos D dos, Silva CD, Vallejos CCC, Acosta DF, Mota MS. Motivos que levam mulheres e homens a buscar as unidades básicas de saúde. JONAH [Internet]. 2022 [citado 22 de agosto de 2025];12(2). Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/enfermagem/article/view/24675> LIMA-COSTA, Maria Fernanda. Influência da idade e da escolaridade no uso de serviços preventivos de saúde: Inquérito de Saúde da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil [Internet]. Epidemiologia e Serviços de Saúde, v. 13, n. 4, dez.

2004. Disponível em: <https://doi.org/10.5123/s1679-49742004000400003>. Acesso em: 22 ago. 2025. PESSOA, Lucas Parente et al. Letramento digital em pessoas idosas: um protocolo de revisão de escopo [Internet]. Research, Society and Development, v. 11, n. 14, p. e164111436092, 23 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36092>. Acesso em: 24 ago. 2025. BONES ROCHA, Kátia et al. Aconselhamento na perspectiva de profissionais da atenção básica: desafios na descentralização do teste rápido HIV/Aids [Internet]. Ciências Psicológicas, p. 67, 9 maio de 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.22235/cp.v12i1.1597>. Acesso em: 24 ago. 2025. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE - Educa | Jovens. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18319-cor-ou-raca.html>. Acesso em: 24 ago. 2025. BRASIL. Ministério da Saúde. Cadernos Atenção Básica - HIV/Aids, Hepatites Virais, Sífilis e outras Infecções sexualmente transmissíveis [Internet]. Editora MS - OS. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svsa/atencao-basica/cadernos-de-atencao-basica-18.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025. BRASIL. Ministério da Saúde. Protocolo clínico e diretrizes terapêuticas para atenção integral às pessoas com Infecções Sexualmente Transmissíveis (IST) [Internet]. Editora MS – OS 2022/0239, , 2022. Disponível em: https://www.gov.br/aids/pt-br/central-de-conteudo/pcdts/2022/ist/pcdt-ist-2022_isbn-1.pdf/@@download/file. Acesso em: 24 ago. 2025. Pinheiro, João Ismael D.; Carvajal, Santiago S. Ramírez, et all. Probabilidade e Estatística, Quantificando a incerteza. Editora Elsevier Ltda, Rio de Janeiro, 2012. ISBN 978-85-352-3757-3.

Anexos



Instrumento de Coleta de dados_pagina1



Instrumento de Coleta de dados_pagina2



Gráficos 1 ao 4

CÓDIGO: SB1623

AUTOR: LAIRA MARIA GAMA DE FARIAS

ORIENTADOR: BEATRIZ DE CASSIA MARTINS SALOMAO

TÍTULO: Viabilidade de probióticos em sorvete elaborados com bebida láctea fermentada.

Resumo

Produtos lácteos probióticos representam um segmento crescente na indústria de alimentos funcionais, e o sorvete pode se tornar um excelente veículo para bactérias probióticas. O presente projeto de iniciação científica visou a elaboração de um sorvete produto a partir de uma bebida láctea fermentada com uma cepa probiótica de *Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis*. O estudo verificou uma contagem da cepa probiótica em 106 UFC/g no produto final, mantendo-se viável durante o processamento do sorvete, o que pode contribuir para o desenvolvimento de novos produtos lácteos funcionais, atendendo à demanda por alimentos com benefícios à saúde.

Palavras-chave: Sorvete; Probióticos; *Bifidobacterium animalis*.

TITLE: Viability of probiotics in ice cream made with fermented milk beverage.

Abstract

Probiotic dairy products represent a growing segment in the functional food industry, and ice cream can become an excellent vehicle for probiotic bacteria. This scientific initiation project aimed to develop an ice cream product from a fermented dairy beverage with a probiotic strain of *Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis*. The study found a probiotic strain count of 106 CFU/g in the final product, remaining viable during ice cream processing. This may contribute to the development of new functional dairy products, meeting the demand for foods with health benefits.

Keywords: ice cream; Probiotics; *Bifidobacterium animalis*

Introdução

A demanda por alimentos funcionais tem crescido exponencialmente, impulsionada pela conscientização dos consumidores sobre a relação entre dieta e saúde (Urala & Lahteenmaki, 2007). Dentre os alimentos funcionais, os produtos lácteos probióticos destacam-se como um dos segmentos mais desenvolvidos da indústria alimentícia (Gomes, Malcata & Xavier, 2013). Probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem um benefício à saúde do hospedeiro (Saad et al., 2013). Bactérias probióticas, como as do gênero *Bifidobacterium*, são amplamente utilizadas em produtos alimentícios devido aos seus potenciais benefícios à saúde (Baboota et al., 2013), desde que em número viável no momento do consumo (geralmente entre 10^6 e 10^7 UFC/g) (Jay, 2000).

O sorvete tem sido reconhecido como um transportador eficaz para bactérias probióticas, apresentando vantagens em relação a outros produtos lácteos fermentados devido ao seu pH mais elevado, que minimiza os efeitos negativos do ambiente ácido na sobrevivência das bactérias probióticas (Alamprese et al., 2005; Favaro-Trindade et al., 2009; Hekmat & McMahon, 1992; Magarinos et al., 2007; Turgut & Cakmakci, 2009). No entanto, os processos de congelamento e batimento durante a produção de sorvete podem causar danos celulares e a consequente perda da viabilidade probiótica (Alamprese et al., 2005; Hekmat & McMahon, 1992; Ordonez, Jeon & Roberts, 2000). Estudos anteriores indicam que a toxicidade do oxigênio pode impactar o crescimento de bifidobactérias anaeróbicas, embora nem sempre seja observada em baixos níveis de overrun (Magarinos et al., 2007). A crioproteção proporcionada pelos componentes da mistura do sorvete, como caseína, sacarose e lactose, também pode influenciar a sobrevivência dos probióticos durante o armazenamento congelado (Favaro-Trindade et al., 2007).

Este projeto se justifica pela necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a aplicação de diferentes cepas probióticas em sorvetes de leite, avaliando sua estabilidade e sobrevivência em diferentes condições. Os resultados podem impulsionar a inovação na indústria de gelados comestíveis e oferecer aos consumidores opções de alimentos.

Neste contexto, o objetivo deste projeto foi avaliar a viabilidade da cepa probiótica de *Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis* na fabricação de sorvete, avaliando a viabilidade do microrganismo durante o seu processamento.

Metodologia

2.1 Elaboração da bebida fermentada O leite em pó integral foi diluído em água na proporção de 80g de leite para 400mL de água, previamente esterilizada em autoclave. Antes da fermentação, 2 mL da cepa de *B. animalis* foi adicionado em 200 mL de leite. Em seguida, o produto foi levado para fermentação em estufa (BOD) a 42°C durante 24 horas. Ao final da fermentação uma amostra foi utilizada para realizar a contagem microbiana para definir a população da cepa probiótica no produto.

2.2 Produção do sorvete Para a elaboração do sorvete, primeiramente foram misturados os ingredientes secos: 150,2 gramas de leite em pó integral, 22,9 g de gordura vegetal de palma, 7,9 g de emulsificante e estabilizante, 180,1 gramas de açúcar, 5 gramas de

estabilizante em pó e 80 gramas de max cream. Logo após foi adicionado água, o leite em pó, emulsificante, estabilizador, açúcar, gordura vegetal e aroma de baunilha. Esta mistura foi levada para uma produtora de sorvete que promoveu a batida até o congelamento. Em seguida foi adicionada a bebida láctea probiótica, previamente preparada.

2.3. Análises microbiológicas A viabilidade da cepa probiótica foi determinada no dia seguinte à produção do sorvete. Inicialmente foram realizadas as diluições seriadas em água peptonada 0,1% e depois foram realizadas por plaqueamento por profundidade com dupla camada de ágar MRS, com incubação anaeróbica a 37°C por 24 horas (Lapierre, Underland e Cox, 1992). Os resultados serão expressos em log UFC/g.

Resultados e Discussões

As análises microbiológicas inicialmente realizadas na bebida láctea fermentada demonstraram uma população de 1×10^9 UFC/g. O estudo verificou uma contagem da cepa probiótica em 1×10^6 UFC/g no produto final.

Conclusão

O presente estudo demonstrou, de forma promissora, a manutenção da viabilidade da cepa probiótica *Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis* durante todo o processamento do sorvete elaborados com bebida láctea fermentada. Este achado é de suma importância, pois confirma o potencial do sorvete como um veículo eficaz para o fornecimento de microrganismos benéficos à saúde, uma vez que a contagem da cepa probiótica foi verificada em 10^6 UFC/g no produto final. Para que esses benefícios sejam efetivos, é crucial que as bactérias probióticas, como as do gênero *Bifidobacterium* amplamente utilizadas na indústria (Baboota et al., 2013), permaneçam em número viável no momento do consumo, geralmente entre 10^6 e 10^7 UFC/g (Jay, 2000). O sucesso em atingir a contagem de 10^6 UFC/g neste sorvete probiótico alinha-se a esses requisitos mínimos de viabilidade. Em suma, os achados deste projeto de iniciação científica abre uma nova perspectivas na fabricação de gelados comestíveis funcionais que atendam não apenas às expectativas sensoriais dos consumidores, mas também ofereçam benefícios tangíveis à saúde. Futuros estudos irão explorar a estabilidade da cepa durante o armazenamento do produto final e a aceitabilidade sensorial do sorvete probiótico para uma compreensão mais completa de seu potencial de mercado

Referências

ALAMPRESE, C.; FOSCHINO, R.; ROSSI, P.; POMPEI, C.; SAVANI, E. Survival of *Lactobacillus rhamnosus* GG in ice cream. *International Dairy Journal*, v. 15, p. 107-112, 2005.

BABOOTA, S. et al. Bifidobacterium and Lactobacillus as functional food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 53, p. 117-132, 2013. FAVARO-TRINDADE, C. S. et al. Viability of Bifidobacterium lactis in fermented milk. *Journal of Dairy Science*, v. 90, p. 4522-4528, 2007.

FAVARO-TRINDADE, C. S. et al. Viability of probiotic cultures and sensory properties of fermented ice creams. *Food Science and Technology (Campinas)*, v. 29, p. 617-623, 2009.

GOMES, A. M.; MALCATA, F. X.; XAVIER, F. C. Advances in the production of functional dairy products. *Food Research International*, v. 50, p. 70-79, 2013.

HEKMAT, S.; MCMAHON, D. J. Survival of Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium bifidum in ice cream. *Journal of Dairy Science*, v. 75, p. 1480-1485, 1992.

JAY, J. M. *Modern Food Microbiology*. 6. ed. Maryland, USA: Aspen Publishers Inc., 2000.

LAPIERRE, L.; UNDERLAND, L. G.; COX, L. Enumeration of Bifidobacterium in fermented dairy products. *Journal of Dairy Science*, v. 75, p. 680-684, 1992.

MAGARINOS, H. et al. Survival of Bifidobacterium animalis in different formulations of ice cream. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 42, p. 606-611, 2007.

ORDONEZ, J. A.; JEON, T. Y.; ROBERTS, R. F. Survival of Lactobacillus reuteri in fermented dairy products during cold storage. *Journal of Food Science*, v. 65, p. 876-880, 2000.

SAAD, N. et al. An overview of probiotic, prebiotic and synbiotic food products and health benefits. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 97, p. 723-742, 2013. TURGUT, T.; CAKMAKCI, S. Investigation of the possible use of probiotics in ice cream production. *International Journal of Dairy Technology*, v. 62, p. 444-451, 2009.

URALA, N.; LAHTENMAKI, L. Attitudes towards functional foods in Finland. *Food Quality and Preference*, v. 18, p. 123-133, 2007.

CÓDIGO: SB1638

AUTOR: JOÃO VITOR DE SOUSA SOBRAL

COAUTOR: LUIZ DA SILVA FERREIRA JUNIOR

COAUTOR: ALBERTO AUGUSTO BEZERRA DE MEDEIROS

ORIENTADOR: MARCIA REGINA DA SILVA PEDRINI

TÍTULO: Análise Sensorial de Fermentados de Caju

Resumo

O pedúnculo do caju (*Anacardium occidentale* L.), rico em açúcares e nutrientes, constitui uma matéria-prima promissora para a elaboração de bebidas fermentadas. Este estudo teve como objetivo avaliar a aceitação sensorial de fermentados espumantes de caju obtidos com diferentes cepas comerciais de *Saccharomyces* spp. O suco clarificado de caju foi fermentado e submetido a três tratamentos distintos. Sessenta provadores avaliaram os atributos de cor, aroma, sabor e impressão global por meio de escala hedônica de 9 pontos e teste de intenção de compra. As três formulações obtiveram médias superiores a 6, indicando boa aceitação. A amostra T1MJ apresentou melhor desempenho global (7,09), enquanto T2BL obteve as menores notas médias no atributo sabor (6,46). O teste de intenção de compra revelou níveis satisfatórios de interesse do consumidor. Os resultados demonstram que o espumante de caju apresenta potencial sensorial e mercadológico, contribuindo para a valorização do pedúnculo e redução de desperdícios.

Palavras-chave: Caju, fermentado, espumante, análise sensorial, aceitação.

TITLE: Sensory Analysis of Cashew Fermented Beverage

Abstract

The cashew apple (*Anacardium occidentale* L.), rich in sugars and nutrients, represents a promising raw material for the production of fermented beverages. This study aimed to evaluate the sensory acceptance of sparkling cashew apple wines produced with

different commercial strains of *Saccharomyces* spp. Clarified cashew juice was fermented and subjected to three treatments. Sixty untrained panelists assessed the attributes of color, aroma, taste, and overall impression using a 9-point hedonic scale, as well as a 5-point purchase intent test. All formulations achieved mean scores above 6, indicating good consumer acceptance. The sample T1MJ presented the best overall impression (7.09), while T2BL showed the lowest average scores for taste (6.46). Purchase intent results indicated satisfactory consumer interest, with positive purchase responses for 63.8% of participants. The findings demonstrate the sensory and market potential of cashew apple sparkling wine, contributing to the valorization of the cashew peduncle and to the reduction of agro-industrial waste.

Keywords: Cashew apple, sparkling wine, fermented beverage, sensory analysis.

Introdução

O Brasil apresenta elevada produção de frutas tropicais, mas grande parte é consumida in natura, sem processamento, o que contribui para perdas significativas devido à alta perecibilidade (GORAYEB et al., 2019; TESSARO et al., 2010). Além disso, a exigência de padrões visuais pelo mercado leva ao descarte de frutos aptos ao consumo, mas rejeitados por danos mecânicos ou aparência pouco atrativa.

Nesse contexto, o processamento de frutas se mostra estratégico para reduzir desperdícios, prolongar a vida útil e diversificar produtos. Entre as possibilidades, destacam-se as bebidas fermentadas, que permitem explorar o potencial de frutas tropicais ainda pouco utilizadas industrialmente (MEDEIROS, 2025).

O caju (*Anacardium occidentale* L.), fruta típica do Nordeste brasileiro, é um exemplo desse cenário. Embora a agroindústria da região produza toneladas de castanha, estima-se que entre 80 a 90% do pedúnculo, parte carnosa e succulenta, seja descartado anualmente (SILVA NETO, 2000). Esse pseudofruto é rico em vitamina C e compostos fenólicos (CIANCI et al., 2005), o que reforça sua importância nutricional e tecnológica. No entanto, o aproveitamento industrial ainda é limitado, principalmente para a elaboração de bebidas alcoólicas fermentadas, apesar de sua composição favorável à fermentação (MARTINELLI FILHO, 1983).

De acordo com a legislação brasileira (Lei 7.678/1988), apenas bebidas obtidas da fermentação de uvas podem ser denominadas vinhos, sendo os produtos derivados de outras frutas classificados como “fermentados de fruta”, devendo constar a origem, como “fermentado de caju” (CORAZZA et al., 2001). Estudos demonstram a viabilidade de diferentes frutas tropicais na produção de fermentados, como jaboticaba (ASQUIERI et al., 2004a), abacaxi (DINIZ e PINHEIRO, 2013), morango (ANDRADE et al., 2013) e laranja (CORAZZA et al., 2001).

Para o desenvolvimento de novos produtos, a análise sensorial é ferramenta indispensável, pois permite avaliar a aceitação do consumidor em atributos como cor, aroma, sabor e impressão global (OLIVEIRA et al., 2012). No caso do caju, embora

pesquisas apontem seu potencial para a elaboração de fermentados, ainda são escassos os trabalhos que verificam sua aceitação sensorial por parte dos consumidores.

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a aceitabilidade sensorial de diferentes formulações de fermentados espumantes de caju, visando contribuir para a valorização do pedúnculo e oferecer subsídios ao setor agroindustrial para o desenvolvimento de novos produtos a partir dessa matéria-prima.

Metodologia

O estudo foi conduzido em escala laboratorial, utilizando frutos íntegros do clone de cajueiro anão precoce CCP 76 (EMBRAPA). O suco foi extraído, clarificado e fermentado segundo o método tradicional de elaboração de espumantes. Três tratamentos foram realizados (T1MJ, T2BL e T3RS), cada um com cepas distintas de *Saccharomyces* spp. A análise sensorial contou com 60 provadores não treinados, de ambos os sexos e faixa etária entre 18 e 26 anos, habituados ao consumo de bebidas alcoólicas. Os atributos aparência/cor, aroma, sabor e impressão global foram avaliados pela Escala Hedônica estruturada de 9 pontos. Também foi aplicado o teste de intenção de compra em escala de 1 a 5. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Resultados e Discussões

As três formulações de espumante de caju apresentaram médias superiores a 6 em todos os atributos, ultrapassando o limite de aceitabilidade estabelecido para novos produtos. A amostra T1MJ destacou-se com melhor desempenho nos atributos cor, aroma e impressão global (média 7,09), enquanto a amostra T2BL apresentou as menores notas no atributo sabor (6,46). O teste de intenção de compra revelou que cerca de 63,8% dos avaliadores atribuíram notas positivas (4 e 5), indicando boa aceitação mercadológica. A amostra T3RS obteve o maior percentual de intenção de compra (23,8%). Esses resultados confirmam o potencial do espumante de caju como produto inovador, com boa aceitação sensorial e perspectivas de inserção no mercado.

Conclusão

Os fermentados espumantes de caju avaliados apresentaram aceitação sensorial satisfatória em todos os atributos, com destaque para a amostra T1MJ. O teste de intenção de compra reforçou a viabilidade mercadológica do produto. Assim, o

espumante de caju configura-se como alternativa tecnológica e sustentável para valorização do pedúnculo e diversificação da agroindústria de frutas.

Referências

ASQUIERI, E. R.; CANDIDO, M. A.; DAMIANI, C.; ASSIS, E. M. Fabricación de vino blanco y tinto de jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba* Berg) utilizando la pulpa y la cáscara respectivamente. *Alimentaria*, Madri, Espanha, n. 355, p. 97-109, 2004a.

CIANCI, F. C.; SILVA, L. F. M.; CABRAL, L. M. C.; MATTA, V. M. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. *Ciências e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 25(3): 579-583, jul.-set. 2025.

CORAZZA, M. L.; RODRIGRES, D. G.; NOZAKI, J. Preparação e caracterização do vinho de laranja. *Química Nova*, São Paulo, v. 24, n. 4, ago. 2001.

DINIZ, M. P. F.; PINHEIRO, A. S. Produção e caracterização físico-química de fermentado de abacaxi. *Entequi*, Macerió, 2013.

GORAYEB, T. C. C. et al. Estudo das Perdas e Desperdício de Frutas no Brasil. *Anais Sintagro*, v. 11, n. 1, 2019.

MARTINELLI FILHO, A. Tecnologia de vinhos e vinagres de frutas. Piracicaba (SP): Departamento de Tecnologia Rural da ESALQ/USP, 1983.

MEDEIROS, A. A. B. Desenvolvimento e avaliação das características físicas, químicas e sensoriais de bebida alcoólica fermentada de caju obtida pelo método tradicional de elaboração de espumantes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – UFRN, Natal, 2025.

OLIVEIRA, L. A.; LORDELO, F. dos S.; TAVARES, J. T. Q.; CAZETTA, M. L. Preparation of fermented Beverage using residual syrup of osmotic dehydration of pineapple (*Ananas comosus* L.). *Revista brasileira de tecnologia agroindustrial*, Ponta Grossa (PR), v. 6, n. 1, p. 702-712, 2012.

SILVA NETO, R. M. da. Inspeção em indústria de beneficiamento de castanha de caju visando a implantação das boas práticas de fabricação. 2000. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

TESSARO, D. et al. Avaliação das fermentações alcoólica e acética para produção de vinagre a partir de suco de laranja. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 32, n. 2, p. 201-205, 2010.

CÓDIGO: SB1729

AUTOR: RAYLAM WENDEL DA SILVA

ORIENTADOR: MARCELO AUGUSTO COSTA FERNANDES

TÍTULO: Classificação Explicável dos Subgrupos Moleculares do Meduloblastoma com XGBoost e SHAP

Resumo

O meduloblastoma é o tumor cerebral pediátrico maligno mais comum e pode ser classificado em quatro subgrupos moleculares com prognósticos distintos. Este trabalho teve como objetivo aplicar técnicas de aprendizado de máquina para classificar os subgrupos moleculares a partir de dados públicos de expressão gênica (GSE85217). Foi utilizado o modelo XGBoost, com balanceamento das classes, e a metodologia de Inteligência Artificial Explicável (SHAP) para identificar genes com maior impacto na predição. O modelo alcançou acurácia de 96,7% no conjunto de teste, destacando genes já reconhecidos na literatura, como PPP2R2B e RBM24, além de potenciais novos marcadores, como PDLIM4. A análise mostrou ainda que a baixa expressão de OTX2 foi determinante para o subgrupo SHH, evidenciando a capacidade do modelo em aprender padrões contextuais. Além disso, um modelo reduzido a 20 genes manteve acurácia robusta de 85,9%. Os resultados demonstram que a combinação de XGBoost com SHAP é promissora para classificação precisa e interpretável, contribuindo para o avanço em diagnósticos mais enxutos e na identificação de novos alvos terapêuticos na neuro-oncologia pediátrica.

Palavras-chave: Meduloblastoma; Aprendizado de Máquina; SHAP; XGBoost.

TITLE: Explainable Classification of Medulloblastoma Molecular Subgroups Using XGBoost and SHAP

Abstract

Medulloblastoma is the most common malignant pediatric brain tumor and can be classified into four molecular subgroups with distinct prognoses. This study aimed to apply machine learning techniques to classify molecular subgroups using public gene expression data (GSE85217). We employed the XGBoost model, with class balancing, and the Explainable Artificial Intelligence (XAI) method SHAP to identify genes with the greatest impact on prediction. The model achieved an accuracy of 96.7% on the test set, highlighting genes already recognized in the literature, such as PPP2R2B and RBM24, as well as potential novel markers like PDLIM4. The analysis also revealed that low OTX2 expression was decisive for the SHH subgroup, underscoring the

model's ability to capture contextual patterns. Furthermore, a reduced model with only 20 genes maintained a robust accuracy of 85.9%. These results demonstrate that combining XGBoost with SHAP is a promising strategy for accurate and interpretable classification, contributing to the development of streamlined diagnostic tools and the identification of novel therapeutic targets in pediatric neuro-oncology.

Keywords: Medulloblastoma; Machine Learning; SHAP; XGBoost.

Introdução

O meduloblastoma (MB) é o tumor cerebral pediátrico maligno mais prevalente, geralmente localizado no cerebelo e responsável por aproximadamente 20% das neoplasias do sistema nervoso central em crianças. Trata-se de uma neoplasia heterogênea, atualmente classificada em quatro subgrupos moleculares principais: WNT, SHH, Grupo 3 e Grupo 4. Esses subtipos apresentam diferenças clínicas, epidemiológicas e genômicas, que se refletem diretamente no prognóstico e nas estratégias terapêuticas [1],[2]. Enquanto tumores do subgrupo WNT apresentam taxas de sobrevida mais favoráveis, os do Grupo 3 são reconhecidos por sua maior agressividade e complexidade clínica [3]. Assim, a definição molecular tornou-se essencial para o diagnóstico, a estratificação de risco e a condução terapêutica.

O avanço na caracterização desses perfis levou a Organização Mundial da Saúde (OMS), em sua classificação de 2021 (WHO CNS5), a reconhecer formalmente entidades como “Meduloblastoma, WNT-ativado” e “Meduloblastoma, SHH-ativado” [4],[5]. Essa consolidação evidencia o papel central da biologia molecular e da bioinformática na era da oncologia de precisão. Entretanto, a determinação confiável dos subgrupos requer análises de expressão gênica em larga escala, envolvendo milhares de variáveis por amostra e alta complexidade computacional.

Nesse contexto, métodos de aprendizado de máquina (Machine Learning, ML) vêm sendo aplicados à classificação tumoral a partir de assinaturas moleculares [3]. Modelos como o XGBoost se destacam pela robustez frente à alta dimensionalidade e ao desbalanceamento de classes, obtendo excelentes resultados preditivos. Contudo, a característica de “caixa-preta” desses algoritmos limita a compreensão dos mecanismos que orientam suas decisões [6],[7], comprometendo a confiabilidade translacional e a geração de hipóteses biológicas.

Para superar esse entrave, emergem metodologias de Inteligência Artificial Explicável (XAI), desenvolvidas para aumentar a transparência dos modelos e oferecer interpretações biologicamente consistentes [6]. O método SHAP (SHapley Additive exPlanations), em particular, destaca-se por quantificar a contribuição individual de cada variável no processo de predição [6],[8]. Com isso, torna-se possível tanto identificar os genes mais relevantes para a separação entre subgrupos quanto compreender os fatores que sustentam a classificação em nível individual [9].

A combinação de XGBoost com SHAP constitui, portanto, uma estratégia promissora ao aliar acurácia elevada e interpretabilidade. Além de validar marcadores já descritos,

essa abordagem favorece a identificação de novos candidatos e fortalece a integração entre bioinformática e pesquisa translacional [3],[10].

O presente trabalho, desenvolvido no âmbito da iniciação científica, tem como objetivo aplicar o modelo XGBoost em conjunto com SHAP para classificar os subgrupos moleculares do meduloblastoma e identificar os genes mais determinantes em cada caso. Pretende-se, assim, contribuir para o avanço do conhecimento biológico da doença, propor potenciais biomarcadores e apoiar o desenvolvimento de estratégias diagnósticas mais precisas. Do ponto de vista acadêmico, ressalta-se também o valor formativo da pesquisa, que promove a integração de inteligência artificial, genômica e neuro-oncologia pediátrica na formação de novos pesquisadores.

Metodologia

A metodologia deste estudo foi organizada em etapas sequenciais, contemplando aquisição de dados, pré-processamento, construção e treinamento do modelo de aprendizado de máquina e análise de interpretabilidade, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 1.

A. Conjunto de Dados e Pré-processamento

Foi utilizado o conjunto público de expressão gênica GSE85217, disponibilizado pelo Medulloblastoma Advanced Genomics International Consortium na base Gene Expression Omnibus (GEO) [12]. Essa coorte é uma das mais abrangentes na área, composta por 763 amostras tumorais obtidas por microarranjos (plataforma Affymetrix Human Gene 1.1 ST), amplamente empregada em estudos de caracterização molecular de meduloblastoma. As amostras estão distribuídas nos quatro subgrupos reconhecidos: Grupo 3 (n=264), Grupo 4 (n=172), SHH (n=113) e WNT (n=63) [11], [13].

Uma análise exploratória inicial evidenciou um forte desbalanceamento entre as classes, o que poderia enviesar o modelo em direção às mais representadas. Para contornar esse problema, foi aplicada a técnica de Random Over-Sampling (ROS) da biblioteca imblearn, após comparação preliminar com outras estratégias de balanceamento, como o SMOTE. O ROS foi escolhido por apresentar maior estabilidade de desempenho e preservação das características originais dos dados. Como resultado, o conjunto de treinamento final ficou balanceado, com todas as classes ajustadas ao tamanho da classe majoritária (n=264).

Após o balanceamento, o dataset foi dividido em 80% para treinamento e 20% para teste, utilizando divisão estratificada. Essa abordagem garantiu a manutenção proporcional das classes no conjunto de teste, que permaneceu intocado até a etapa de avaliação final do modelo.

B. Construção e Treinamento do Modelo

O algoritmo escolhido foi o XGBoost (Extreme Gradient Boosting), um modelo de ensemble baseado em árvores de decisão reconhecido por sua robustez em tarefas de classificação com dados de alta dimensionalidade [14]. O XGBoost funciona de forma iterativa, criando árvores adicionais para corrigir os erros residuais das anteriores, e inclui regularizações L1 e L2 que reduzem o risco de overfitting, algo crítico em dados genômicos com milhares de atributos.

Na tarefa de classificação multiclasse, foi utilizada a configuração multi:softmax. Para esta investigação, foram mantidos os parâmetros padrão do algoritmo, de forma a priorizar a análise de interpretabilidade em vez da busca exaustiva por hiperparâmetros. O treinamento foi realizado exclusivamente sobre o conjunto balanceado de treinamento, enquanto a avaliação final foi conduzida no conjunto de teste reservado. O desempenho foi medido por métricas de acurácia e análise comparativa entre classes.

C. Análise de Explicabilidade e Redução de Atributos

Com o objetivo de interpretar as decisões do modelo, foi utilizada a metodologia de Inteligência Artificial Explicável (XAI) por meio do pacote SHAP (SHapley Additive exPlanations) [15]. O algoritmo TreeExplainer permitiu calcular a contribuição de cada gene para a classificação de uma amostra, fornecendo valores SHAP individuais. Esses valores foram agregados em summary plots, que possibilitaram hierarquizar os genes com maior impacto global para cada subgrupo molecular. Essa abordagem tornou possível identificar tanto biomarcadores já descritos na literatura quanto potenciais novos candidatos.

Além da análise global, foi realizada uma investigação sobre a viabilidade de painéis gênicos reduzidos. Para isso, o modelo foi reavaliado iterativamente com subconjuntos de genes selecionados a partir do ranking SHAP. O objetivo dessa etapa foi verificar se a acurácia poderia ser mantida com um número menor de atributos, explorando a possibilidade de diagnósticos mais rápidos, baratos e clinicamente aplicáveis.

D. Ambiente Computacional

Todas as análises foram conduzidas em ambiente Google Colab, utilizando a linguagem Python (versão 3.11). As principais bibliotecas empregadas foram: pandas (v2.2.2) para manipulação de dados, scikit-learn (v1.5.2) para pré-processamento e avaliação, imblearn (v0.13.0) para oversampling, xgboost (v2.1.3) para a implementação do modelo e shap (v0.47.0) para a análise de explicabilidade [15]-[19].

Essa metodologia estruturada permitiu não apenas treinar um modelo de alta acurácia, mas também compreender os fatores genômicos que direcionaram suas previsões, reforçando o valor do aprendizado de máquina explicável na pesquisa em neuro-oncologia pediátrica.

Resultados e Discussões

Nesta seção são apresentados os principais achados do estudo, integrando desempenho do modelo de classificação, identificação de biomarcadores por meio da metodologia SHAP, análise detalhada por subgrupo molecular e avaliação do impacto da redução de atributos. Os resultados são discutidos em conjunto com a literatura, de modo a evidenciar tanto a validação de marcadores já estabelecidos quanto a proposição de novos candidatos, além de explorar implicações práticas e limitações do trabalho.

A. Desempenho do Modelo de Classificação

O modelo XGBoost, após balanceamento dos dados por Random OverSampling, demonstrou desempenho elevado na tarefa de classificar os quatro subgrupos de meduloblastoma. A curva de aprendizado (Figura 2A) mostra rápida convergência, com acurácia de treinamento de 100% e de validação de 99,5%, evidenciando robustez e baixo risco de overfitting.

A matriz de confusão (Figura 2B) confirma esse desempenho, revelando uma classificação quase perfeita. Dos 212 casos de teste avaliados, apenas sete foram incorretamente atribuídos, resultando em uma acurácia global de 96,7%. Os subgrupos SHH e WNT foram classificados com precisão de 100%, enquanto as poucas falhas estiveram restritas a confusões pontuais entre os Grupos 3 e 4, conhecidos por sua maior similaridade molecular.

B. Identificação de Biomarcadores via SHAP

Para interpretar as previsões do modelo e identificar os genes de maior impacto, foi aplicada a metodologia SHAP. O ranking global dos 20 genes mais relevantes está apresentado no summary plot (Figura 3), enquanto a Figura 4 detalha a contribuição específica por subgrupo. A Tabela I relaciona esses genes com a literatura existente, evidenciando tanto a validação de biomarcadores já descritos quanto a proposição de candidatos ainda pouco explorados.

C. Análise por Subgrupo

Grupo 3: A análise destacou PPP2R2B, NPR3 e GABRA5 como genes de maior valor SHAP (Figura 4A). Esses marcadores, já reportados em estudos anteriores, estão associados à via de sinalização MYC, frequentemente ativada nesse subgrupo. Os resultados confirmam a capacidade do modelo de recuperar assinaturas moleculares robustas e reconhecidas.

Grupo 4: Os genes RBM24, ZBTB18 e SH3GL3 tiveram maior relevância (Figura 4B). RBM24, em particular, tem sido sugerido como marcador prognóstico em trabalhos recentes, enquanto ZBTB18 e SH3GL3 apresentam expressão diferencial nesse grupo. Esses achados corroboram o papel do modelo em identificar assinaturas consistentes com a biologia já estabelecida.

SHH: O padrão de classificação para o subgrupo SHH se mostrou especialmente sofisticado. O modelo destacou OTX2, CACNA1F e RPGRIP1 como discriminadores importantes, não pela sua alta, mas pela baixa expressão (Figura 4C). No caso de OTX2, altamente expresso nos Grupos 3 e 4, sua ausência relativa tornou-se um

marcador negativo decisivo para o SHH. Esse comportamento revela que o modelo não se limita a reconhecer abundância, mas também aprende regras contextuais. Em contraste, o gene ATOH1, marcador canônico desse subgrupo, foi corretamente identificado por sua alta expressão, validando o poder explicativo da abordagem.

WNT: Os genes PDLIM4, TMEM51 e DLX3 foram os mais relevantes (Figura 4D). DLX3 já é associado à modulação da via Wnt em outros contextos, enquanto PDLIM4 e TMEM51 não possuem relação previamente descrita com o meduloblastoma. A identificação desses genes sugere potenciais novos biomarcadores, que podem direcionar estudos experimentais futuros.

De forma geral, os resultados do SHAP demonstram que o modelo não apenas atingiu alta acurácia, mas também fundamentou suas decisões em padrões biologicamente plausíveis, validando a coerência dos achados e reforçando o potencial da inteligência artificial explicável como ferramenta de descoberta em oncologia pediátrica.

D. Eficiência do Modelo com Atributos Reduzidos

A partir do ranking de importância dos genes, foi conduzida uma análise iterativa de redução de atributos (Figura 5). O objetivo foi avaliar se seria possível manter bom desempenho com um número menor de genes, simulando cenários mais próximos de aplicações clínicas.

Os resultados mostraram que, mesmo com reduções drásticas, o modelo manteve acurácia elevada. Com apenas os 20 genes mais relevantes, obteve 85,9% de acurácia, um valor robusto diante da redução de milhares de atributos. Esse achado reforça o potencial de construir painéis diagnósticos compactos, com menor custo e maior aplicabilidade prática, sem comprometer substancialmente a performance.

E. Discussão

Este estudo evidenciou a eficácia da integração entre o modelo XGBoost e a análise SHAP na classificação dos subgrupos de meduloblastoma, bem como na identificação de potenciais biomarcadores genéticos. A estratégia demonstrou ser capaz de extrair padrões biologicamente interpretáveis de um conjunto de dados de alta dimensionalidade, conciliando desempenho preditivo elevado com a necessidade de transparência em pesquisas biomédicas [15].

Um ponto de destaque foi a validação de genes já documentados, como PPP2R2B no Grupo 3 e RBM24 no Grupo 4, reforçando a consistência biológica dos achados [20], [23]. Entretanto, o valor do uso da metodologia SHAP vai além da simples confirmação: a análise do subgrupo SHH revelou a lógica contextual aprendida pelo modelo, mostrando como a interpretabilidade pode evitar conclusões superficiais.

Nesse subgrupo, o gene OTX2 surgiu como o principal preditor, mas não pela sua superexpressão — frequentemente associada aos Grupos 3 e 4 — e sim pela sua baixa expressão no SHH, que resultou em forte impacto positivo nos valores SHAP (Figura 4c). Esse comportamento sugere que o modelo reconheceu uma regra de exclusão, onde a ausência relativa de OTX2 funciona como marcador negativo específico para a correta

classificação do SHH [26], [27]. Tal achado ilustra como abordagens explicáveis podem capturar não apenas marcadores isolados, mas também relações contextuais.

Padrões semelhantes foram observados para CACNA1F e RPGRIP1, destacados pelo modelo como relevantes para SHH devido à baixa expressão. Embora esses genes ainda não tenham vínculo direto estabelecido com o meduloblastoma, estão associados a processos celulares gerais, como canais de cálcio e mecanismos de progressão tumoral em outros contextos [28], [29]. Isso demonstra o potencial de abordagens computacionais para levantar novas hipóteses biológicas, ainda que a relevância clínica precise ser confirmada em experimentos independentes.

Em contraste, o gene ATOH1 apresentou comportamento esperado: sua alta expressão elevou significativamente os valores SHAP, reforçando sua função já descrita como fator de transcrição chave no desenvolvimento do subgrupo SHH [30]. A capacidade do modelo em identificar tanto marcadores contextuais (baixo OTX2) quanto canônicos (alto ATOH1) reforça a robustez da análise e o valor de técnicas de Inteligência Artificial Explicável na biomedicina.

Outro resultado relevante foi a demonstração de que um painel reduzido a 20 genes manteve desempenho robusto (85,9% de acurácia). Essa simplificação aponta para possíveis aplicações em cenários clínicos, onde diagnósticos rápidos e com menor custo são fundamentais. Entretanto, no subgrupo WNT os genes destacados pelo SHAP, como PDLIM4 e DLX3, ainda carecem de associação clara com a doença, podendo refletir limitações do tamanho amostral ou sinalizar novos alvos em potencial [31], [32].

Por fim, é importante reconhecer as limitações do presente estudo. Como análise in silico, os resultados correspondem a associações computacionais que necessitam validação experimental (qRT-PCR, imuno-histoquímica ou ensaios funcionais). Além disso, o desempenho obtido está diretamente condicionado à qualidade e representatividade do conjunto de dados utilizado. Ainda assim, a combinação de XGBoost com SHAP mostrou-se uma estratégia promissora para unir predição acurada e interpretabilidade, contribuindo para o avanço em diagnósticos mais enxutos e no desenvolvimento de novos alvos em neuro-oncologia pediátrica.

Conclusão

Este estudo atingiu plenamente seus objetivos ao demonstrar que a aplicação combinada do classificador XGBoost com a metodologia de interpretabilidade SHAP constitui uma estratégia robusta e eficaz para a análise de dados de expressão gênica em meduloblastoma. A abordagem não apenas alcançou alta acurácia na classificação dos subgrupos moleculares, mas também permitiu extrair insights biologicamente relevantes, conciliando desempenho computacional e compreensão biológica — um ponto central para pesquisas translacionais em oncologia pediátrica.

Os resultados validaram biomarcadores já consolidados na literatura, ao mesmo tempo em que revelaram padrões inesperados, como a baixa expressão de OTX2 no subgrupo SHH, interpretada como marcador discriminativo, e a identificação de genes sem associação prévia, especialmente no subgrupo WNT. Esse duplo cenário reforça a necessidade de interpretar criticamente a importância atribuída pelo modelo: alguns genes refletem diretamente funções biológicas conhecidas, enquanto outros representam regras contextuais de classificação ou potenciais hipóteses para investigação futura.

Além disso, a análise de redução de atributos mostrou ser possível manter um bom desempenho preditivo com um número reduzido de genes, sugerindo a viabilidade de painéis diagnósticos enxutos, mais aplicáveis em ambientes clínicos. Esse resultado amplia o potencial translacional do trabalho e abre novas possibilidades de aplicação prática da metodologia em outros contextos oncológicos.

Como perspectivas futuras, destaca-se a importância da validação experimental dos achados por meio de técnicas como qRT-PCR ou imuno-histoquímica, sobretudo para os novos candidatos identificados no subgrupo WNT. Paralelamente, a expansão dessa estratégia para outros tumores pediátricos e a comparação com diferentes abordagens de interpretabilidade poderão aprofundar nossa compreensão da biologia do câncer guiada por dados.

Por fim, este trabalho evidencia também a dimensão formativa da iniciação científica. O desenvolvimento deste estudo proporcionou não apenas resultados científicos relevantes, mas também a integração entre bioinformática, inteligência artificial e biologia molecular, consolidando competências essenciais para a pesquisa contemporânea. Assim, os avanços aqui apresentados refletem tanto uma contribuição concreta para a área da neuro-oncologia pediátrica quanto o amadurecimento acadêmico alcançado ao longo do processo.

Referências

- [1] St. Jude Children's Research Hospital. Medulloblastoma in children and teens. Disponível em: <https://together.stjude.org/en-us/conditions/cancers/medulloblastoma.html>. Acesso em: 6 jun. 2025.
- [2] M. D. Taylor, P. A. Northcott, A. Korshunov, M. Remke, Y.-J. Cho, S. C. Clifford, C. G. Eberhart, D. W. Parsons, S. Rutkowski, A. Gajjar, R. J. Wechsler-Reya, S. L. Pomeroy, R. J. Gilbertson, S. M. Pfister. Molecular subgroups of medulloblastoma: the current consensus. *Acta Neuropathologica*, v. 123, n. 4, p. 465–472, 2012.
- [3] A. N. Author. Accurate identification of medulloblastoma subtypes from diverse data sources with severe batch effects by RaMBat. *PMC*, 2025.

- [4] D. N. Louis, A. Perry, P. Wesseling, et al. The 2021 WHO classification of tumors of the central nervous system: a summary. *Neuro-Oncology*, v. 23, n. 8, p. 1231–1251, 2021.
- [5] V. Vemireddy, J. A. Kalapurakal, A. D’Souza, S. Mohankumar, J. L. Finlay, B. Rood. Medulloblastoma: Challenges and advances in treatment and surveillance. *Cancer*, v. 127, n. 8, p. 1228–1240, 2021.
- [6] A. N. Author. Demystifying the black box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI) in bioinformatics. IU Indianapolis ScholarWorks, 2023.
- [7] Omics Tutorials. Explainable AI for omics data. Disponível em: <https://omicstutorials.com/explainable-ai-for-omics-data/>. Acesso em: 6 jun. 2025.
- [8] XGBoosting.com. Explain XGBoost predictions with SHAP. Disponível em: <https://xgboosting.com/explain-xgboost-predictions-with-shap/>. Acesso em: 6 jun. 2025.
- [9] A. N. Author. Characterization of immune microenvironment associated with medulloblastoma metastasis based on explainable machine learning. *PubMed Central*, 2024.
- [10] A. J. Gajjar, G. W. Robinson, K. S. Smith, et al. Outcomes by clinical and molecular features in children with medulloblastoma treated with risk-adapted therapy: Results of an international phase III trial (SJMB03). *Journal of Clinical Oncology*, v. 39, n. 7, p. 822–835, 2021.
- [11] E. S. Rahmani, A. Lawarde, P. Lingasamy, S. V. Moreno, A. Salumets, V. Modhukur. Mbmethpred: a computational framework for the accurate classification of childhood medulloblastoma subgroups using data integration and AI-based approaches. *Frontiers in Genetics*, v. 14, p. 1233657, 2023.
- [12] F. M. Cavalli, M. Remke, L. Rampasek, J. Peacock, D. J. Shih, B. Luu, L. Garzia, J. Torchia, C. Nor, A. S. Morrissy, et al. Intertumoral heterogeneity within medulloblastoma subgroups. *Cancer Cell*, v. 31, n. 6, p. 737–754, 2017.
- [13] B. Lan. Leveraging random forest machine learning for subgroup classification of medulloblastoma. *Journal of Research in Social Science and Humanities*, v. 3, n. 12, 2024.
- [14] T. Chen, C. Guestrin. XGBoost: A scalable tree boosting system. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD ’16)*. ACM, 2016, p. 785–794.
- [15] S. M. Lundberg, S.-I. Lee. A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, v. 30, 2017.
- [16] W. McKinney, et al. Data structures for statistical computing in Python. In: *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*. Austin, TX, 2010, p. 51–56.

- [17] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, et al. Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, v. 12, p. 2825–2830, 2011.
- [18] G. Lemaître, F. Nogueira, C. K. Aridas. Imbalanced-learn: A Python toolbox to tackle the curse of imbalanced datasets in machine learning. *Journal of Machine Learning Research*, v. 18, n. 17, p. 1–5, 2017.
- [19] T. Chen, C. Guestrin. XGBoost: A scalable tree boosting system. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. New York: ACM, 2016, p. 785–794.
- [20] J. Vriend, R. B. Tate. Differential expression of genes for ubiquitin ligases in medulloblastoma subtypes. *Cerebellum*, v. 18, n. 3, p. 469–488, 2019.
- [21] M. D. Taylor, P. A. Northcott, A. Korshunov, M. Remke, Y.-J. Cho, S. C. Clifford, C. G. Eberhart, D. W. Parsons, S. Rutkowski, A. Gajjar, et al. Molecular subgroups of medulloblastoma: the current consensus. *Acta Neuropathologica*, v. 123, p. 465–472, 2012.
- [22] S. Sengupta, S. D. Weeraratne, H. Sun, J. Phallen, S. K. Rallapalli, N. Teider, B. Kosaras, V. Amani, J. Pierre-Francois, Y. Tang, et al. $\alpha 5$ -GABAA receptors negatively regulate MYC-amplified medulloblastoma growth. *Acta Neuropathologica*, v. 127, p. 593–603, 2014.
- [23] D.-L. Shi. RBM24 in the post-transcriptional regulation of cancer progression: Anti-tumor or pro-tumor activity? *Cancers*, v. 14, n. 7, p. 1843, 2022.
- [24] J. Vriend, M. Rastegar. Ubiquitin ligases and medulloblastoma: Genetic markers of the four consensus subgroups identified through transcriptome datasets. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Basis of Disease*, v. 1866, n. 10, p. 165839, 2020.
- [25] A. Azatyan, P. G. Zaphiropoulos. Circular and fusion RNAs in medulloblastoma development. *Cancers*, v. 14, n. 13, p. 3134, 2022.
- [26] D. C. Adamson, Q. Shi, M. Wortham, P. A. Northcott, C. Di, C. G. Duncan, J. Li, R. E. McLendon, D. D. Bigner, M. D. Taylor, H. Yan. OTX2 is critical for the maintenance and progression of SHH-independent medulloblastomas. *Cancer Research*, v. 70, n. 1, p. 181–191, 2010.
- [27] Y. Lu, C. M. Labak, N. Jain, I. J. Purvis, M. R. Guda, S. E. Bach, A. J. Tsung, S. Asuthkar, K. K. Velpula. OTX2 expression contributes to proliferation and progression in Myc-amplified medulloblastoma. *American Journal of Cancer Research*, v. 7, n. 7, p. 1556, 2017.
- [28] M. A. Khan, P. Pramanik, S. Marbut, F. Yunus, J. N. Galeas, S. Singh, A. P. Singh, S. Dasgupta. Frequent loss of CACNA1C, a calcium voltage-gated channel subunit, is associated with lung adenocarcinoma progression and poor prognosis. *Cancer Research*, v. 83, n. 7 (Supp.), p. 3318, 2023.

- [29] J. Guo, Y. Yang, Z. Ji, M. Yao, X. Xia, X. Sha, M. Huang. Novel RPGRIP1L gene mutations identified by whole exome sequencing in a patient with multiple primary tumors: Case report. *Frontiers in Genetics*, v. 12, p. 620472, 2021.
- [30] K. B. Grausam, S. D. R. Dooyema, L. Bihannic, H. Premathilake, A. S. Morrissy, A. Forget, A. Schaefer, J. H. Gundelach, S. Macura, D. M. Maher, et al. ATOH1 promotes leptomeningeal dissemination and metastasis of Sonic Hedgehog subgroup medulloblastomas. *Cancer Research*, v. 77, n. 20, p. 5545–5557, 2017.
- [31] Y.-H. Hsiao, W.-Y. Lin, S.-H. Chen, C.-L. Chen, Y.-F. Lin, Y.-H. Hsieh, M.-T. Su, H.-C. Chu, H. Lin, P.-Y. Liew, et al. PDLIM4, a novel PDZ-LIM domain protein, is a potential tumor suppressor in renal cell carcinoma. *BMC Cancer*, v. 10, p. 1–11, 2010.
- [32] C. Ye, S. Ren, A. Sadula, X. Guo, M. Yuan, M. Meng, G. Li, X. Zhang, C. Yuan. The expression characteristics of transmembrane protein genes in pancreatic ductal adenocarcinoma through comprehensive analysis of bulk and single-cell RNA sequence. *Frontiers in Oncology*, v. 13, p. 1047377, 2023.
- [33] L.-L. E, L.-X. Zhang, J.-C. Zhang, Y.-Y. Gao, Y.-L. Wei, J. Li, J.-J. Zhu, X. Liu, S.-Z. Liu. DLX3 regulates bone marrow-derived mesenchymal stem cell differentiation and migration by modulating the Wnt/ β -catenin pathway. *Journal of Cellular Physiology*, v. 234, n. 10, p. 17777–17792, 2019.

Anexos



Tabela I: Resumo dos principais genes identificados pelo modelo SHAP e sua validação na literatura.



Figura 1. Fluxograma da metodologia empregada.



Figura 2. Desempenho do modelo XGBoost: (a) curva de aprendizado evidenciando boa generalização entre treino e validação; (b) matriz de confusão com alta precisão na classificação dos quatro subgrupos.



Figura 3. Gráfico resumo SHAP com os 20 genes de maior impacto médio nas previsões do modelo.



Figura 4. Gráficos de dependência SHAP por subgrupo molecular, mostrando o impacto de cada gene na predição (eixo X) e o nível de expressão (cor: vermelho = alto, azul = baixo).

CÓDIGO: SB1737

AUTOR: ROBERTO RONALDO LOPES DE FREITAS

COAUTOR: LIDIA PALOMA DA SILVA NOGUEIRA

COAUTOR: KATIA NICOLAU MATSUI

ORIENTADOR: MARCIA REGINA DA SILVA PEDRINI

TÍTULO: Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis formulados pela incorporação de solução de macroalga *Ulva flexuosa*

Resumo

O acúmulo de resíduos plásticos no meio ambiente representa um dos principais desafios da atualidade, demandando alternativas sustentáveis às embalagens convencionais. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar filmes biodegradáveis a partir de amido de inhame e solução de macroalgas do gênero *Ulva*. Os filmes foram elaborados pelo método casting e avaliados quanto à umidade, solubilidade, espessura, cor, transparência e biodegradabilidade em solo. Os resultados indicaram que a adição da solução de macroalga não alterou significativamente a umidade, mas promoveu maior solubilidade, modificações visuais e aceleração do processo de biodegradação. Dessa forma, os filmes elaborados apresentam potencial para aplicação como embalagens alimentícias sustentáveis, contribuindo para a redução do impacto ambiental dos resíduos plásticos.

Palavras-chave: Embalagens sustentáveis, amido de inhame, Filmes biodegradáveis.

TITLE: Development and characterization of biodegradable films formulated by the incorporation of *Ulva flexuosa* macroalgae solution.

Abstract

The accumulation of plastic waste in the environment represents one of the most pressing challenges of our time, demanding sustainable alternatives to conventional packaging. In this context, the present study aimed to develop and characterize biodegradable films based on yam starch and a solution of macroalgae from the genus *Ulva*. The films were produced using the casting method and evaluated for moisture content, solubility, thickness, color, transparency, and soil biodegradability. The results indicated that the addition of the macroalgae solution did not significantly affect moisture levels but led to increased solubility, visual modifications, and accelerated biodegradation. Therefore, the developed films show potential for use as sustainable food packaging, contributing to the reduction of environmental impact caused by plastic waste.

Keywords: Sustainable packaging, yam starch, biodegradable films.

Introdução

O plástico é, comumente, um material sintético derivado do petróleo, cuja composição química pode ser alterada por meio da adição de diversos elementos que lhe conferem propriedades como resistência, maleabilidade e durabilidade. Essas características possibilitam sua ampla aplicação em diversos setores, destacando-se especialmente o uso em embalagens para alimentos. Entretanto, o uso descontrolado e o descarte inadequado dos resíduos plásticos sintéticos têm provocado o acúmulo crescente desses materiais no meio ambiente, configurando-se como um importante problema ambiental contemporâneo. A persistência dos polímeros no ambiente e a dificuldade de sua degradação natural resultam em impactos ambientais significativos, demandando, portanto, estratégias eficazes de manejo, educação ambiental e reciclagem para mitigar tais efeitos (Silva et al., 2013; Santos et al., 2022).

Entre os principais desdobramentos da poluição plástica, destacam-se os impactos ambientais, geológicos e à saúde humana. Priya et al. (2022) evidenciam a ampla ocorrência de micro e nanoplásticos em diferentes ecossistemas, ressaltando suas fontes, mecanismos de dispersão e efeitos tóxicos sobre organismos vivos. No campo geológico, Santos et al. (2022) identificaram na Ilha da Trindade formações sintéticas, como plastiglomerados e pyroplastics, resultantes da fusão de resíduos plásticos com sedimentos, propondo seu reconhecimento como equivalentes de rochas e revelando a influência humana no antropoceno. No âmbito da saúde, Marfella et al. (2024) verificaram a presença de partículas plásticas em placas ateroscleróticas de artérias carótidas humanas, associando sua ocorrência a maior risco de eventos cardiovasculares, o que sugere uma possível ligação entre exposição ambiental e progressão da arteriosclerose.

Diante da crescente crise ambiental causada pelos resíduos plásticos, torna-se promissor o desenvolvimento de alternativas que aliem funcionalidade e sustentabilidade. Uma das estratégias mais inovadoras é a elaboração de filmes biodegradáveis, capazes de substituir embalagens convencionais sem comprometer o meio ambiente. Esses filmes são produzidos a partir de biopolímeros naturais, como amido e solução de macroalga, que

apresentam excelente capacidade formadora de filmes, além de serem renováveis e biodegradáveis (Leja & Lewandowicz, 2010).

O amido de inhame (*Dioscorea* spp.), por exemplo, é uma fonte rica em amilose e amilopectina, com propriedades adequadas para a formação de filmes flexíveis e transparentes. Embora estudos como o de Carissimi et al. (2018) tenham utilizado amido de outras fontes, este trabalho toma como base suas conclusões para o amido de inhame, devido às características semelhantes, permitindo sua aplicação em filmes biodegradáveis.

Paralelamente, a solução extraída de macroalgas marinhas representa uma inovação relevante. As macroalgas, como as espécies do gênero *Ulva*, são encontradas em água marinha ou doce no litoral brasileiro (Vidotti et al., 2004; Malta et al., 1999) e possuem compostos bioativos com atividades antioxidante, antibacteriana, anti-inflamatória e antitumoral (Sun et al., 2019). Portanto, a elaboração de filmes biodegradáveis a partir de amido de inhame e a solução de macroalgas constitui uma alternativa viável e ecologicamente responsável, alinhada aos princípios da economia circular e da inovação sustentável.

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de filmes e caracterização da umidade, solubilidade, espessura, cor, transparência e biodegradabilidade em solo para possível utilização como embalagem de alimentos.

Metodologia

1. Materiais e Métodos

1.1. Materiais

Para este estudo foram utilizadas macroalgas verdes do gênero *Ulva flexuosa*, coletadas na empresa Primar Aquacultura Ltda. (Tibau do Sul, RN, Brasil), certificada como produtora orgânica pelo Instituto Biodinâmico. O amido de inhame (*Dioscorea* spp.) foi empregado como matriz polimérica principal, oriundo de outros estudos já realizados no laboratório de Engenharia de Alimentos da UFRN como, por exemplo, desenvolvimento de filmes antimicrobianos à base do amido de semente de jaca e inhame incorporados com óleo essencial de canela cássia (Costa et al., 2025). Como plastificante, utilizou-se glicerol comercial, grau analítico (Synth, Brasil). A solução à base de macroalgas, previamente extraída da macroalga *Ulva flexuosa* em estudos anteriores, foi utilizada como agente de reforço estrutural e funcional na elaboração dos filmes. Todos os reagentes empregados foram de grau analítico, e a água utilizada foi destilada.

1.2. Formulação dos filmes

Os filmes foram obtidos via casting (Figura 1), com a formulação base, em massa, contendo 3% de amido de inhame, 1,5% de glicerol e 94% de água destilada. A partir dessa formulação base, foram elaborados o filme controle, formulado apenas com a formulação base (F1), e o filme com a formulação base e mais 8% de solução de macroalgas (F2). Seguidamente, foram resfriadas por 10 minutos. Após o resfriamento, as soluções foram distribuídas em placas (30 mm × 30 mm), pesadas e secas em estufa de ar com circulação forçada, a 105 °C por 24 h ao final do processo foi obtido os filmes (Figura 2).

1.3. Caracterização dos filmes

1.3.1. Umidade

O teor de umidade foi determinado segundo Hosseini et al. (2009), utilizando a equação:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Em que m_i corresponde à massa inicial e m_f à massa final após secagem até peso constante. As análises foram realizadas em triplicata ($n = 3$).

1.3.2. Solubilidade

A solubilidade em água foi avaliada conforme Hosseini et al. (2009). Após a análise de umidade, os corpos de prova foram imersos em um recipiente contendo 50 mL de água destilada, colocados sob agitação por 6 h a uma temperatura de 25 °C, e posteriormente secos por 24 h a temperatura de 105 °C. Ao fim desse período determinou-se a massa seca final (ms_f). A determinação dos valores para solubilidade em água foi aplicada a seguinte equação:

$$AS(\%) = \frac{ms_i - ms_f}{ms_i} \times 100$$

Em que ms_i é a massa seca inicial e ms_f a massa seca final. As análises foram realizadas em triplicata ($n = 3$).

1.3.3. Espessura

A espessura dos filmes foi medida em, no mínimo, três pontos aleatórios de cada amostra, utilizando micrômetro digital de alta precisão.

1.3.4. Cor

As propriedades de cor foram determinadas por colorimetria, no sistema CIE (L^* , a^* , b^*), com fonte de luz D65, ângulo de observação de 10° e modo de reflectância. Foram avaliados os parâmetros L^* , a^* , b^* , além do índice de névoa e do croma (C^*).

1.3.5. Transparência

A transparência dos filmes foi avaliada por análise visual, registrando-se imagens fotográficas das amostras posicionadas sobre um fundo contrastante. Essa abordagem permitiu observar qualitativamente o grau de passagem de luz e a nitidez dos elementos de fundo, possibilitando a comparação entre os diferentes tratamentos. As fotografias foram utilizadas como suporte para a análise comparativa da aparência visual (maior ou menor transparência) entre os filmes formulados.

1.3.6. Biodegradabilidade em solo

A biodegradabilidade dos filmes foi avaliada por meio de ensaio de enterramento no solo, conforme a metodologia descrita por Medina-Jaramillo et al. (2017) e Lopes et al. (2025), com pequenas modificações. Quatro amostras quadradas (50 mm $\times$ 50 mm) foram enterradas em bandejas plásticas (100 mm $\times$ 200 mm $\times$ 5 mm) contendo uma mistura de 50 % de solo vegetal e 50 % de esterco bovino, a uma profundidade de 10 mm. As bandejas foram mantidas sob condições ambientais de temperatura e umidade relativa. Amostras em triplicata foram retiradas após 1, 3, 6 e 12 dias, cuidadosamente limpas, pesadas e registradas fotograficamente, de modo a acompanhar as alterações resultantes do processo de degradação.

1.3.7. Análise estatística

Todos os experimentos foram realizados em triplicatas e os dados obtidos foram submetidos à análise estatística utilizando o software Assistat versão 7.7, foi aplicada uma análise de variância (ANOVA).

Resultados e Discussões

2. Resultados e Discussão

2.1. Umidade e solubilidade

A análise de umidade e solubilidade em filmes biodegradáveis é essencial, pois a umidade influencia propriedades mecânicas e de barreira, afetando a integridade e a vida útil da embalagem, enquanto a solubilidade indica a estabilidade estrutural, podendo ser indesejável em contato com água ou vantajosa em aplicações específicas. A Tabela 1 apresenta os teores de umidade e solubilidade dos filmes elaborados.

Os filmes apresentaram valores de umidade entre $3,42 \pm 1,27\%$ (F1) e $3,62 \pm 0,22\%$ (F2), sem diferença estatística significativa ($p > 0,05$). Esses resultados indicam que a variação na formulação não exerceu influência expressiva na retenção de água, mantendo baixos teores de umidade, característica desejável por reduzir a suscetibilidade a alterações microbiológicas. Achados semelhantes foram relatados por Rizal et al. (2020), que observaram baixos teores de umidade em filmes de macroalgas reforçados com microfibras polissacarídicas, associando esse comportamento à interação da matriz com os reforços, que conferiu maior estabilidade ao material.

Quanto à solubilidade em água, os filmes apresentaram valores de $88,0 \pm 0,86\%$ (F1) e $91,4 \pm 1,91\%$ (F2), com diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$). O maior valor obtido para a formulação F2 sugere que pequenas variações estruturais entre as formulações podem ter influenciado a interação da matriz polimérica com o meio aquoso. Resultados próximos foram descritos por Samani et al. (2023) em filmes à base de polissacarídeos sulfatados de macroalgas, nos quais diferenças de composição e a presença de agentes de ligação afetaram diretamente a solubilidade.

2.2. Espessura

A espessura dos filmes é um parâmetro fundamental que influencia diretamente suas propriedades mecânicas, de barreira e, consequentemente, sua aplicabilidade em embalagens biodegradáveis. No presente estudo, o filme controle apresentou uma espessura média de $0,06 \pm 0,01$ mm, enquanto o filme incorporado com 8% de solução de macroalgas exibiu uma espessura média ligeiramente reduzida, de $0,05 \pm 0,01$ mm. Tal redução, embora discreta e dentro do intervalo de variação experimental, pode ser atribuída à maior compactação estrutural promovida pela solução de macroalgas na matriz polimérica. Dessa forma, esta solução atua reorganizando a estrutura do filme, resultando em uma matriz mais densa e, consequentemente, em filmes com menor espessura (Samani et al., 2023).

Esses achados estão em concordância com os resultados reportados por Hosseini et al. (2009), que indicaram que a incorporação de agentes reforçadores fibrosos pode alterar a deposição e o arranjo material durante o processo de secagem dos filmes, impactando diretamente na espessura final obtida.

2.3. Cor

A cor dos filmes foi avaliada instrumentalmente pelos parâmetros L^* , a^* e b^* Tabela 2.

O parâmetro L^* , que indica a luminosidade da amostra (0 = preto absoluto e 100 = branco absoluto), apresentou valores mais altos em F1, revelando superfície mais clara, enquanto F2 mostrou redução desse parâmetro, indicando aparência ligeiramente mais escura. No eixo a^* , que varia do verde (valores negativos) ao vermelho (valores positivos), ambas as formulações mantiveram valores próximos ao zero, demonstrando tonalidade neutra com leve tendência esverdeada, sem diferença estatística significativa ($p > 0,05$). Já para o parâmetro b^* , que varia do azul (valores negativos) ao amarelo (valores positivos), a formulação F2 apresentou valores superiores, refletindo maior intensidade amarelada em comparação com F1.

Esse comportamento é coerente com os achados de Seadi et al. (2023), que observaram coloração amarelada em filmes à base de celulose regenerada usando *Ulva ohnoi* adicionado de ZnONP e curcumina como materiais antibacterianos e antioxidantes para preparar filmes de celulose para embalagens ativas. Hussain et al., (2024) demonstraram em seu estudo com filmes biodegradáveis à base de hemicelulose e carboximetilcelulose (CMC) que o uso de plastificantes como glicerol ou PEG-300 aumenta significativamente o índice de amarelecimento, mesmo mantendo a claridade.

Dessa forma, as variações observadas nos parâmetros colorimétricos confirmam que pequenas modificações na formulação podem impactar o aspecto visual dos filmes, fator de grande relevância para sua aceitação em potenciais aplicações comerciais (Thakur et al., 2019).

2.4. Transparência

A transparência é um parâmetro visual relevante em filmes biodegradáveis, especialmente quando direcionados para aplicação em embalagens, uma vez que a visibilidade do conteúdo pode influenciar diretamente a aceitação do consumidor. Na avaliação visual como mostrado na Figura 3, observou-se uma diferença marcante entre as formulações: o filme controle apresentou maior transparência, permitindo melhor visualização do fundo, enquanto o filme adicionado de solução de macroalgas exibiu aspecto mais opaco.

Essa diferença pode estar associada à composição estrutural dos filmes. A presença de solução de macroalgas tende a modificar a dispersão da luz na matriz polimérica, aumentando a turbidez e reduzindo a passagem de luz. De acordo com estudos prévios (Hosseini et al., 2009; Medina-Jaramillo et al., 2017), filmes mais transparentes estão relacionados a estruturas homogêneas, com menor presença de partículas dispersas ou aglomerados que promovem difusão da luz. Embora a transparência tenha sido avaliada por análise visual, é importante notar que, para resultados mais aprofundados, a avaliação da turbidez pode ser aprimorada com o uso do espectrofotômetro.

2.5. Biodegradabilidade em solo

A avaliação da biodegradabilidade dos materiais F1 (Controle) e F2 (Controle + 8% solução de macroalgas), com base na figura 4 foi conduzida ao longo de um período de 12 dias, com registros visuais nos dias 01, 03, 06 e 12. As imagens obtidas em cada intervalo temporal revelam diferenças significativas no comportamento degradativo entre as duas amostras.

No primeiro dia, ambas as amostras apresentaram integridade estrutural. No entanto, já no terceiro dia, começaram a surgir os primeiros sinais de degradação superficial, como o aparecimento de fungos em ambas as amostras. Nesse estágio, a amostra F2 apresentou maior perda de massa em comparação à F1.

A partir do sexto dia, observou-se uma intensificação do processo de biodegradação, especialmente na amostra F2, com evidências claras de fragmentação e redução de massa. Em contraste, a amostra F1 manteve-se relativamente estável, apresentando apenas alterações mínimas em sua morfologia.

Ao final do experimento (dia 12), ambas as amostras F1 e F2 exibiram degradação avançada, com desintegração evidente da estrutura original. Esses resultados indicam que a presença da solução de macroalgas na formulação da amostra F2 atuou como catalisador do processo de biodegradação, possivelmente por favorecer a ação de microrganismos decompositores, acelerando a degradação em solo em relação à F1.

Esses resultados estão em consonância com o estudo de Schaullet et al. (2024), que apresenta um panorama histórico sobre o uso de plásticos convencionais e biodegradáveis. Os autores destacam que os polímeros sintéticos convencionais, derivados de fontes não renováveis, possuem alta resistência à degradação, permanecendo por longos períodos no ambiente e contribuindo significativamente para a poluição e a superlotação de aterros sanitários. Em contraposição, os polímeros biodegradáveis como, como amido de inhame e o blend de amido com solução de macroalgas, que são geralmente de fontes renováveis, apresentaram uma taxa de degradação mais acelerada.

Esses achados corroboram estudos anteriores que destacam o papel da solução de macroalgas na melhoria da performance biodegradável de materiais compostos, sugerindo que sua incorporação pode ser uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de produtos inovadores com menor impacto ambiental.

Conclusão

Os filmes biodegradáveis desenvolvidos a partir do amido de inhame e da solução extraída de macroalgas demonstraram propriedades relevantes para aplicação como embalagens sustentáveis, contribuindo para a redução da dependência do plástico convencional e para a prevenção da geração de resíduos, em consonância com a meta de reduzir substancialmente os resíduos por meio da prevenção, reciclagem e reuso até 2030. A incorporação da solução de macroalgas promoveu aumento da solubilidade, redução da espessura, alterações de cor e transparência, além de acelerar a biodegradação em solo,

o que reforça o potencial do material para atender às demandas de gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais.

Além disso, o desenvolvimento desta alternativa fortalece o papel da pesquisa científica e da inovação tecnológica, incentivando o avanço de setores industriais estratégicos e alinhando-se ao objetivo de aumentar os investimentos em pesquisa e desenvolvimento, especialmente em países em desenvolvimento.

Por fim, a adoção desse tipo de material pode contribuir para a modernização da infraestrutura produtiva e a transição para processos industriais limpos e ambientalmente corretos, promovendo maior eficiência no uso de recursos e impulsionando o desenvolvimento de embalagens ativas e sustentáveis. Estudos futuros devem aprofundar as análises mecânicas e de barreira, além da viabilidade econômica em escala industrial, de modo a consolidar este avanço como parte de um caminho em direção aos compromissos globais da Agenda 2030 da ONU.

Referências

Bhawani, S. A., Moheman, A., Yakout, A. A., & Ibrahim, M. N. M. (2019). Nanostructured biopolymers for application as drug-delivery vehicles. Nanostructured Polymer Composites for Biomedical Applications, 189–210. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816771-7.00010-7>.

Carissimi, M.; Flôres, S. H.; Rech, R. Effect of microalgae addition on active biodegradable starch film. Algal Research, 32, 201–209, 2018.

COSTA, E.S., MOREIRA, I.S., GOMES, J.P., BASTOS, M.S.R., MATTOS, A.L.A., ALBUQUERQUE ., SANTOS, N.C., ROCHA, A.P.T., MATSUI, K.M . Barrier, Mechanical and Antimicrobial Properties of Yam Starch Film With Cássia Cinnamon Essential Oil and Its Application in Strawberry Storage. PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE, v. 38, p. 1-17, 2025.

Hosseini, M. H., Razavi, S. H., & Mousavi, M. A. (2009). Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan-based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. Journal of Food Processing and Preservation, 33(6), 727–743.

Hussain, S. A., Yadav, M. P., Sharma, B. K., Qi, P. X., & Jin, T. Z. (2024). Biodegradable food packaging films using a combination of hemicellulose and cellulose derivatives. *Polymers*, 16(22), 3171. <https://doi.org/10.3390/polym16223171>.

Leja, K., & Lewandowicz, G. (2010). Polymer biodegradation and biodegradable polymers: a review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(2).

Lopes, P. F. N.; Felipe, A. T. M.; Medeiros, F. G. M.; Bastos, M. S. R.; Mattos, A. L. A.; Matsui, K. N.; Hoskin, R. T. Biodegradable Cassava Starch-Based Films Formulated with Coconut Oil for Sustainable Food Packaging. *Food Science and Engineering*, 6(1), 140–154, 2025. DOI: <https://ojs.wiserpub.com/index.php/FSE/article/view/6199>.

Love, R., Bangar, S., Bridges, W. S., Darby, D. O., Doh, H., & Whiteside, W. S. (2022). Physicochemical characterizations of nanocellulose isolated from kudzu (*Pueraria montana* var. *lobata*) for potential packaging applications. *Research Square*, 1 <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1650785/v1>

Malta, E. J., Draisma, S. G., & Kamermans, P. (1999). Free-floating *Ulva* in the southwest Netherlands: species or morphotypes? A morphological, molecular and ecological comparison. *European Journal of Phycology*, 34(5), 443–454. <https://doi.org/10.1017/S0967026299002474>

Marfella, R., Prattichizzo, F., Sardu, C., Fulgenzi, G., Graciotti, L., Spadoni, T., ... & Paolisso, G. (2024). Microplastics and nanoplastics in atheromas and cardiovascular events. *New England Journal of Medicine*, 390(10), 900–910. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2309822>.

Medina-Jaramillo, C., Ochoa-Yepes, O., Bernal, C., & Famá, L. (2017). Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. *Carbohydrate Polymers*, 176, 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.079>.

Priya, A. K., Jalil, A. A., Dutta, K., Rajendran, S., Vasseghian, Y., Qin, J., & Soto-Moscoso, M. (2022). Microplastics in the environment: Recent developments in characteristic, occurrence, identification and ecological risk. *Chemosphere*, 298, 134161. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134161>.

Rizal, S., Saurabh, C. K., Jani, M. S., & Mistar, E. M. (2020). Properties of macroalgae biopolymer films reinforcement with polysaccharide microfibre. *Polymers*, 12(11), 2554. <https://doi.org/10.3390/polym12112554>.

Samani, M. A., Ghanbarzadeh, B., Ayaseh, A., & Alizadeh, M. (2023). Development and characterization of a novel biodegradable and antioxidant film based on marine seaweed sulfated polysaccharide. *Food Science & Nutrition*, 11, 3767–3779. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3361>.

Santos, F. A., et al. (2022). Plastic debris forms: Rock analogues emerging from marine pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 182, 114031. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114031>.

Schaulet, N. S., Ribeiro, V. G., & de Jacques, J. J. (2024). Panorama Histórico do Uso de Plásticos Convencionais e Biodegradáveis. *ENSUS 2024 – XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFMG – Belo Horizonte - 07 a 09 de agosto de 2024*.

Silva, C. O., Santos, G. M., & Silva, L. N. (2013). A degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso. *Revista Eletrônica de Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET*, 13(13), 2683–2689.

Sun, W., Wu, W., Liu, X., Zaleta-Pinet, D. A., & Clark, B. R. (2019). Bioactive compounds isolated from marine-derived microbes in China: 2009–2018. *Marine drugs*, 17(6), 339.

Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., & Vuong, Q. V. (2019). Starch-based films: Major factors affecting their properties.

International journal of biological macromolecules, 132, 1079-1089.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.190>.

Victoria, F. N. (2021). A utilização de compostos bioativos em embalagens ativas como uma estratégia sustentável. *Compostos Bioativos e Suas Aplicações*, 281–298. <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-7-4.c13>.

Vidotti, E. C.; Rollemberg, M. C. E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à biorremediação e à química analítica. *Química Nova*, 27(1), 139–145, 2004. DOI: 10.1590/S0100-40422004000100024.

Anexos



Figura 2: Filmes biodegradáveis de amido de inhame: (F1) filme controle à figura A e (F2) filme adicionado de 8% de solução de macroalgas à e figura B Fonte: autoria própria.



Tabela 1: Teores de umidade e solubilidade dos filmes elaborados



Tabela 2: Teor de cor dos filmes elaborados.



Figura 3: Comparativo visual entre dois filmes biodegradáveis de amido de inhame. À esquerda, filme F1 (Controle) com maior transparência; à direita, o filme (F2) com aspecto mais opaco, devido a presença de solução de macroalgas. Fonte: autoria própria.



Figura 4: Avaliação da biodegradabilidade das amostras F1 (Controle) e F2 (blend de amido e solução de macroalgas) ao longo de 12 dias. Fonte: autoria própria.



Figura 1: Processo de homogeneização das matérias-primas que compõem a solução controle presente na Figura 2. Fonte: autoria própria.