

Síntese e Caracterização de Bioadsorvente de *Spondias mombin* L. para Remoção de Azul de Metileno utilizando ClZn_2 , NaOH e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$

Antônio Jorge Silva Araújo Junior

Professor Doutor, UFOPA, Brasil
antonio.jsa@ufopa.edu.br

Marina Scarano Corrêa

Mestra, Brasil.
marina_scarano@ymail.com

Luiza Carla Girard Mendes Teixeira

Professora Doutora, UFPA, Brasil.
luiza.girard@hotmail.com

Maurício Alves da Motta Sobrinho

Professor Doutor, UFPE, Brasil.
mauricio.motta@ufpe.br

Recebido: 5 de agosto de 2024

Aceito: 16 de novembro de 2024

Publicado online: 7 de dezembro de 2024

DOI: 10.17271/1980082720420245257

<https://doi.org/10.17271/1980082720420245257>

Licença

Copyright (c) 2024 Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista



Este trabalho está licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution 4.0 International License

Síntese e Caracterização de Bioadsorvente de *Spondias mombin* L. para Remoção de Azul de Metileno utilizando ClZn_2 , NaOH e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$

RESUMO

Objetivo – O objetivo deste estudo foi sintetizar e caracterizar um bioadsorvente produzido a partir do endocarpo da *Spondias mombin* L., utilizando os ativadores químicos ClZn_2 , NaOH e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, e avaliar sua eficiência na remoção do corante azul de metileno em soluções aquosas.

Metodologia - A pesquisa foi estruturada em três etapas: preparação e ativação do carvão ativado em diferentes temperaturas e tempos de pirólise; caracterização do material quanto ao teor de cinzas, teor de umidade, rendimento e pH; e realização de ensaios de adsorção para determinar a eficiência na remoção do corante.

Originalidade/relevância - Este estudo aborda a lacuna teórica relacionada ao reaproveitamento de resíduos agrícolas para produção de materiais adsorventes, promovendo alternativas sustentáveis ao uso de adsorventes convencionais e destacando sua relevância para o tratamento de efluentes.

Resultados - Os adsorventes ativados com NaOH e ClZn_2 demonstraram maior eficiência, com destaque para os materiais NA250-3, ZN300-2 e ZN300-4, que apresentaram capacidades de adsorção de $1,40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, $1,39 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ e $1,37 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, removendo 93,23%, 93,02% e 91,69% do corante, respectivamente. O material ZN250-4 destacou-se pelo equilíbrio entre desempenho ($1,33 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, remoção de 88,78%) e custo-benefício, devido ao elevado rendimento (64,27%) em relação aos demais.

Contribuições teóricas/metodológicas: A pesquisa amplia o conhecimento sobre condições ideais de ativação e uso de ativadores químicos, fornecendo subsídios para a aplicação de bioadsorventes.

Contribuições sociais e ambientais - A pesquisa promove a sustentabilidade ao propor a reutilização de resíduos agrícolas como matérias-primas para produção de bioadsorventes, reduzindo a poluição ambiental e oferecendo soluções para o tratamento de efluentes.

PALAVRAS-CHAVE: Bioadsorventes. Carvão Ativado. *Spondias mombin* L. Adsorção.

Synthesis and Characterization of *Spondias mombin* L. Bioadsorbent for the Removal of Methylene Blue using ClZn_2 , NaOH, and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$

ABSTRACT

Objective – The objective of this study was to synthesize and characterize a bioadsorbent produced from the endocarp of *Spondias mombin* L., using the chemical activators ClZn_2 , NaOH, and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, and evaluate its efficiency in removing methylene blue dye from aqueous solutions.

Methodology – The research was structured in three stages: preparation and activation of activated carbon at different temperatures and pyrolysis times; characterization of the material in terms of ash content, moisture content, yield, and pH; and adsorption assays to determine its efficiency in dye removal.

Originality/Relevance – This study addresses the theoretical gap related to the reuse of agricultural residues for the production of adsorbent materials, promoting sustainable alternatives to conventional adsorbents and highlighting their relevance for effluent treatment.

Results – The adsorbents activated with NaOH and ClZn_2 demonstrated higher efficiency, with emphasis on the materials NA250-3, ZN300-2, and ZN300-4, which achieved adsorption capacities of $1.40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, $1.39 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, and $1.37 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, removing 93.23%, 93.02%, and 91.69% of the dye, respectively. The ZN250-4 material stood out for its balance between performance ($1.33 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 88.78% dye removal) and cost-effectiveness, given its high yield (64.27%) compared to the others.

Theoretical/Methodological Contributions – The research enhances knowledge about optimal activation conditions and the use of chemical activators, providing insights for the application of bioadsorbents.

Social and Environmental Contributions – The research promotes sustainability by proposing the reuse of agricultural residues as raw materials for bioadsorbent production, reducing environmental pollution and offering solutions for effluent treatment.

KEYWORDS: Bioadsorbents. Activated Carbon. *Spondias mombin* L. Adsorption.

Síntesis y Caracterización de Bioadsorbente de *Spondias mombin* L. para la Eliminación de Azul de Metileno utilizando ClZn_2 , NaOH y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$

RESUMEN

Objetivo – El objetivo de este estudio fue sintetizar y caracterizar un bioadsorbente producido a partir del endocarpio de *Spondias mombin* L., utilizando los activadores químicos ClZn_2 , NaOH y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, y evaluar su eficiencia en la remoción del colorante azul de metileno de soluciones acuosas.

Metodología – La investigación se estructuró en tres etapas: preparación y activación del carbón activado a diferentes temperaturas y tiempos de pirólisis; caracterización del material en términos de contenido de cenizas, contenido de humedad, rendimiento y pH; y ensayos de adsorción para determinar su eficiencia en la remoción del colorante.

Originalidad/Relevancia – Este estudio aborda la brecha teórica relacionada con la reutilización de residuos agrícolas para la producción de materiales adsorbentes, promoviendo alternativas sostenibles a los adsorbentes convencionales y destacando su relevancia en el tratamiento de efluentes.

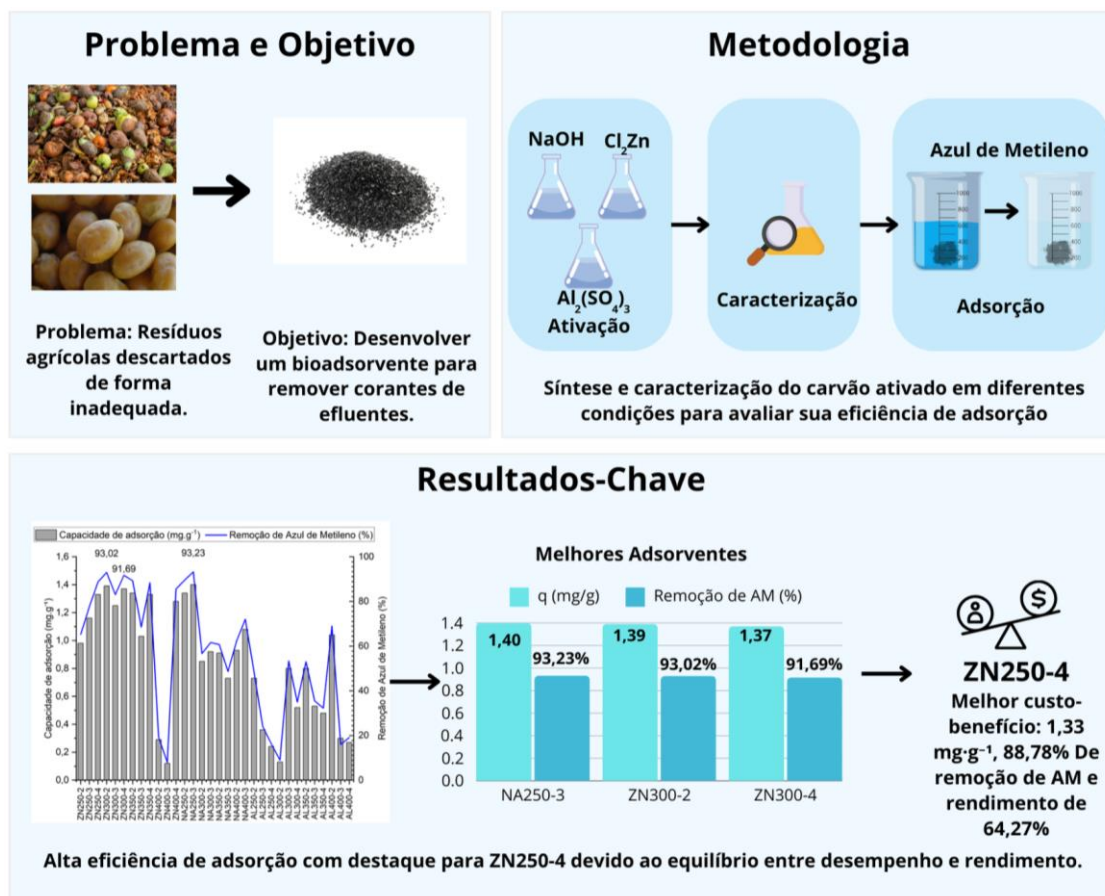
Resultados – Los adsorbentes activados con NaOH y ClZn_2 demostraron mayor eficiencia, destacándose los materiales NA250-3, ZN300-2 y ZN300-4, que alcanzaron capacidades de adsorción de $1,40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, $1,39 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ y $1,37 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, removiendo el 93,23%, 93,02% y 91,69% del colorante, respectivamente. El material ZN250-4 sobresalió por su equilibrio entre rendimiento ($1,33 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, remoción del 88,78%) y rentabilidad, debido a su alto rendimiento (64,27%) en comparación con los demás.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – La investigación amplía el conocimiento sobre las condiciones óptimas de activación y el uso de activadores químicos, proporcionando bases para la aplicación de bioadsorbentes.

Contribuciones Sociales y Ambientales – La investigación promueve la sostenibilidad al proponer la reutilización de residuos agrícolas como materias primas para la producción de bioadsorbentes, reduciendo la contaminación ambiental y ofreciendo soluciones para el tratamiento de efluentes.

PALABRAS CLAVE: Bioadsorbentes. Carbón activado. *Spondias mombin* L. Adsorción.

RESUMO GRÁFICO



1 INTRODUÇÃO

O modelo consumista e o crescimento populacional têm causado o aumento da pressão sobre o meio ambiente, seja para exploração de matéria-prima, ou pelo lançamento de efluentes. Esse fenômeno tem causado a degradação e poluição ambiental (Arora e Gagneja, 2020; Clark *et al.*, 2019). Corantes, metais e nutrientes, como fósforo, são considerados potenciais poluidores, pois contribuem para a poluição de rios e lagos, afetando a fauna e flora aquática (Gao *et al.*, 2023; Yaqoob *et al.*, 2020).

A inovação tecnológica no tratamento da água para consumo humano é necessária para remoção de contaminantes, inclusive em baixas concentrações, garantindo o cumprimento dos padrões de potabilidade (Ghosh e Webster, 2021; Roque *et al.*, 2023). Técnicas de tratamento de água, baseadas em processos de coagulação, flotação ou sedimentação, são eficientes na remoção de material particulado. Entretanto, para a remoção de cor, nutrientes e compostos orgânicos dissolvidos, os processos de adsorção são mais eficazes no pós-tratamento destes efluentes (Pivokonsky *et al.*, 2021; Sher *et al.*, 2021).

Segundo Popa e Visa (2017) o carvão ativado é caracterizado por possuir elevada área superficial específica e volume de poros, boa estabilidade química e grupos funcionais na superfície, resultando em alta capacidade de adsorção e reatividade. É amplamente utilizado na remediação da água devido ao seu potencial de adsorção, sendo um dos motivos pelo qual tem chamado a atenção mundial (Yagub, Sen e Ang, 2012). O carvão ativado vem sendo aplicado em diversas áreas, como controle e purificação do ar atmosférico, sistemas industriais, separação de impurezas da água potável e tratamento de efluentes industriais (Chouhan, 2022; Jiao *et al.*, 2020).

Pesquisas de Geçgel, Kocabayrak e Üner (2015) e Mahamad, Zaini e Zakaria (2015) verificaram o potencial de adsorção dos carvões ativados na remoção de corantes (azul de metileno) e analisaram sua eficácia. A produção de carvão ativado a partir de biomassa é sustentável e tem potencial para tratamento de águas residuárias industriais e biorremediação de áreas contaminadas (Deniz e Kepekci, 2017).

A qualidade e aplicabilidade do carvão ativado gerado de biomassa dependem das características específicas do material precursor e do método de produção, incluindo agente químico de ativação, proporção do ativador/material precursor, tempo de ativação, taxa de aquecimento e temperatura de carbonização (Vukčević *et al.*, 2015). Na última década, o interesse pela utilização de biomassa para produção de carvão ativado cresceu devido ao baixo custo, renovabilidade e elevada disponibilidade de materiais como resíduos agroindustriais (Popa e Visa, 2017).

No Brasil, a agricultura e a agroindústria movimentaram aproximadamente R\$533 bilhões na economia (Brasil, 2017), chegou a representar 43% das exportações do país em 2021 (Grytz e Guero, 2023), e geram diversos resíduos. O reaproveitamento dessa biomassa atenua o impacto ambiental e reduz o custo de produção de carvão ativado. Um exemplo é o endocarpo ("caroço") do Taperebá/Cajá (*Spondias mombin* L.), uma fruta comum na região Amazônica e no Nordeste conhecida por suas características de sabor e aroma exóticos (Yahia, 2011).

Embora a produção de *Spondias mombin* L. ainda seja majoritariamente extrativista, sua exploração agroindustrial é viável devido ao consumo *in natura* e em derivados como sucos,

sorvetes e cremes (Infante *et al.*, 2023). A elevada produção gera resíduos que podem ser reaproveitados para a criação de materiais adsorventes (Brito *et al.*, 2022; Sebastião *et al.*, 2018; Sousa *et al.*, 2023).

Dessa forma, esta pesquisa aborda a necessidade de novas aplicações para resíduos agrícolas e a remoção de corantes de efluentes. A pesquisa combina a síntese do material adsorvente e sua utilização para remoção de azul de metileno.

2 OBJETIVOS

Sintetizar e caracterizar um bioadsorvente produzido a partir do caroço da *Spondias mombin* L. utilizando três ativadores distintos (ClZn_2 , NaOH e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) e avaliar sua eficiência na remoção do corante azul de metileno em soluções aquosas.

3 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em três etapas: a preparação e ativação do carvão, a caracterização do carvão ativado, ensaios de adsorção de Azul de Metileno.

O material precursor é proveniente de produção familiar de despolpamento de frutas em Tomé-Açu, no interior do estado do Pará. A produção utiliza o Taperebá/Cajá como matéria prima e os caroços foram doados ao laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas da Universidade Federal do Pará. Em seguida, os caroços foram lavados em água corrente, para retirar materiais indesejados aderidos a superfície, e secos em estufa por 24 horas a 105°C.

Para a ativação do material precursor, utilizou-se três agentes ativadores distintos, o Cloreto de Zinco (ClZn_2), o Hidróxido de Sódio (NaOH) e o Sulfato de Alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), variando a temperatura e tempo de pirólise para posterior caracterização.

As ativações foram realizadas nas temperaturas de 250°C, 300°C, 350°C e 400°C, na concentração de 0,1 M de NaOH, na proporção de 1:1 em massa (ativador/material precursor) de ClZn_2 , e 2:1 de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. O tempo de exposição à temperatura de pirólise foi variado, utilizando-se 2, 3 e 4 horas. Em todas as ativações o material precursor ficou em contato com a solução de ativadora por 24 horas e posteriormente foi seco por 3 horas a 130 °C em estufa. Posteriormente a granulometria do material foi padronizada para faixa de 1,2 a 2,0 mm.

A caracterização da ativação do material adsorvente foi realizada através da determinação do teor de cinzas, teor de umidade, rendimento e do pH. Todas as determinações foram realizadas em triplicatas. A Tabela 1 sintetiza os métodos utilizados em cada uma das determinações, assim como a referência utilizada.

Tabela 1 - Metodologias utilizadas na determinação de parâmetros do bioadsorvente

Determinação	Metodologia Utilizada
Teor de Cinzas	D2866-11 (ASTM International, 2018)
Teor de Umidade	D2867-17 (ASTM International, 2023)
Rendimento	(Vargas, 2010)
pH	(Medeiros, 2008)

Fonte: Autores (2024).

Para ensaio de adsorção, utilizou-se 150 mL de solução de azul de metileno a 20 mg.L⁻¹

¹, em contato com 2 g do material adsorvente sob agitação constante (250 rpm) em plataforma de agitação magnética, a 24°C, por 24 horas.

Para avaliar a capacidade de remoção do azul de metileno pelo carvão ativado, utilizou-se a medição da concentração de azul de metileno após contato com o material, por medição da absorbância a 665 nm no espectrofotômetro UV-visível.

A priori, foi realizada a determinação da curva de calibração do azul de metileno que relaciona a absorbância da substância com a concentração da mesma. Para traçar a reta de calibração foram preparadas sete soluções-padrão de diferentes concentrações. Através de técnicas de regressão linear foi possível chegar à equação que relaciona absorbância e concentração.

A capacidade adsorptiva foi calculada pela Equação 1, derivada das leis de conservação de massa e equilíbrio químico (Atkins e Paula, 2021).

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad \text{Equação 1}$$

Onde o q é a capacidade de adsorção em mg.g^{-1} , C_0 é a concentração inicial do adsorvato em mg , C_e é a concentração do adsorvato no equilíbrio em mg , V é o volume da solução em litros, e m a massa do adsorvente em gramas.

Com os dados obtidos, foi determinado qual melhor adsorvente em relação à capacidade de remoção de azul de metileno e também a caracterização do material (teor de cinzas, teor de umidade, rendimento e pH), proporcionando visão abrangente sobre o desempenho e a qualidade do bioadsorvente.

4 RESULTADOS

Para facilitar a nomenclatura dos diversos adsorventes, foi estabelecido a seguinte lógica de nomeação: as duas primeiras letras referem-se ao agente ativador (ZN = Cloreto de Zinco, AL = Sulfato de Alumínio, e NA = Hidróxido de Sódio), seguido da temperatura de pirólise e tempo de exposição à temperatura. Portanto o adsorvente ZN250-2 foi produzido com Cloreto de Zinco, submetido a 250 °C por 2 horas.

4.1 Caracterização do adsorvente ativado com ClZn_2

Na Tabela 2 a seguir estão os valores médios da caracterização do carvão ativado com ClZn_2 .

Tabela 2 - Valores médios dos parâmetros de caracterização dos adsorventes ativados com Cloreto de Zinco

Carvão	Rendimento (%)	pH	Teor de Cinzas (%)	Teor de umidade (%)
ZN250-2	73,65 ± 2,72	6,11 ± 0,12	4,60 ± 0,56	10,67 ± 1,95
ZN250-3	59,89 ± 3,95	5,96 ± 0,16	6,55 ± 0,43	8,27 ± 0,76
ZN250-4	64,27 ± 1,68	6,14 ± 0,18	8,39 ± 1,06	9,85 ± 0,60
ZN300-2	47,61 ± 2,85	5,90 ± 0,09	6,51 ± 0,49	12,28 ± 4,52
ZN300-3	47,53 ± 0,48	6,12 ± 0,18	7,60 ± 0,36	11,79 ± 1,26
ZN300-4	48,31 ± 4,47	6,06 ± 0,14	8,68 ± 0,98	7,57 ± 7,57
ZN350-2	39,46 ± 0,40	5,82 ± 0,07	6,55 ± 0,10	10,71 ± 0,76
ZN350-3	33,29 ± 1,61	6,13 ± 0,08	7,05 ± 0,52	9,17 ± 0,24
ZN350-4	39,16 ± 3,47	6,00 ± 0,25	8,83 ± 0,17	10,88 ± 1,20
ZN400-2	28,01 ± 1,29	6,03 ± 0,17	6,33 ± 1,94	5,54 ± 0,40
ZN400-3	26,04 ± 0,80	6,00 ± 0,22	5,94 ± 0,31	8,25 ± 0,21
ZN400-4	34,91 ± 0,32	5,43 ± 0,30	8,48 ± 0,42	5,44 ± 0,19

Fonte: Autores (2024).

Observa-se que o rendimento dos carvões varia significativamente, com valores entre 28,00% (ZN400-2) e 73,65% (ZN250-2). De maneira geral, os carvões produzidos a temperaturas mais baixas (250°C) apresentaram rendimentos maiores do que os produzidos a temperaturas mais altas (400°C).

Temperaturas mais baixas resultam em um grau de carbonização reduzido, o que implica que a matéria orgânica não se volatiliza completamente, aumentando rendimento final do CA. Consequentemente, ocorre uma formação de poros menos intensa, limitando o desenvolvimento da estrutura porosa do material (Jones *et al.*, 2021).

Quanto ao pH, todos os carvões apresentam valores próximos a 6, o que indica uma característica ligeiramente ácida.

Já em relação ao teor de cinzas, nota-se que os carvões produzidos a temperaturas mais altas apresentam maiores teores de cinzas, com valores entre 5,94% (ZN400-3) e 8,83% (ZN350-4). Por outro lado, os carvões produzidos a temperaturas mais baixas apresentam teores de cinzas menores, com valores entre 4,60% (ZN250-2) e 6,55% (ZN250-3).

Quanto ao teor de umidade, observa-se que os carvões apresentam valores relativamente baixos, variando entre 5,44% (ZN400-4) e 11,79% (ZN300-3). No entanto, dos doze adsorventes, nove apresentaram valores de teor de umidade maiores que 8%, limite recomendado por (AWWA, 2012).

Em resumo, de acordo com dados da Tabela 2, a produção de carvões ativados com ClZn_2 em diferentes temperaturas pode influenciar significativamente as propriedades dos carvões, como o rendimento, o pH, o teor de cinzas e o teor de umidade. Além disso, os resultados sugerem que a temperatura de queima é um fator importante a ser considerado na produção de carvões ativados com Cloreto de Zinco, uma vez que afeta diretamente as características do produto.

4.2 Caracterização do adsorvente ativado com NaOH

Da mesma forma, na Tabela 3 estão os valores médios da caracterização dos adsorventes produzidos com NaOH.

Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros de caracterização dos adsorventes ativados com Hidróxido de Sódio

Carvão	Rendimento (%)	pH	Teor de Cinzas (%)	Teor de umidade (%)
NA250-2	61,37 ± 2,43	6,69 ± 0,77	3,53 ± 0,00	9,09 ± 1,22
NA250-3	36,70 ± 5,06	7,35 ± 0,31	4,65 ± 0,23	8,75 ± 5,19
NA300-2	44,39 ± 4,11	6,57 ± 0,32	3,88 ± 0,28	9,77 ± 2,10
NA300-3	36,42 ± 2,11	6,64 ± 2,42	5,13 ± 0,65	8,85 ± 1,71
NA350-2	30,05 ± 7,81	7,81 ± 1,74	4,75 ± 0,27	12,90 ± 2,58
NA350-3	26,99 ± 5,72	7,36 ± 0,34	5,46 ± 0,27	5,95 ± 1,45
NA400-2	25,28 ± 0,42	7,95 ± 0,89	4,52 ± 1,56	17,85 ± 6,18
NA400-3	25,25 ± 3,86	8,14 ± 1,06	5,69 ± 0,64	6,65 ± 0,42

Fonte: Autores (2024).

Apesar da baixa concentração de NaOH, não foi possível realizar os ensaios com tempo de 4 horas devido ao rendimento significativamente baixo, o que resultou em produto com estrutura extremamente frágil e difícil de ser manipulada.

Observa-se, na Tabela 3, que os carvões NA250-2 e NA300-2 apresentam os maiores rendimentos, com valores de 61,37% e 44,39%, respectivamente. Já os carvões produzidos a temperaturas mais elevadas, como NA350-2 e NA400-2, apresentam rendimentos menores, com valores em torno de 25-30%.

Em relação ao pH, observa-se que a maioria dos carvões apresentam valores alcalinos, com variações entre 6,57 e 8,14. Os carvões produzidos a temperaturas mais altas, como NA350-2 e NA400-2, apresentam pH mais elevados.

Esse fenômeno pode ser atribuído à incorporação mais eficiente do NaOH na estrutura superficial dos carvões durante o processo de ativação em altas temperaturas. A integração do NaOH facilita a formação de grupos funcionais carboxílicos na superfície do carvão. Grupos carboxílicos (-COOH) podem perder um próton (H⁺) em solução aquosa, transformando-se em grupos carboxilato (-COO⁻). Essa desprotonação contribui para a alcalinidade da solução, pois aumenta a capacidade dos carboxilatos de se ligarem a cátions, como íons metálicos, que podem levar à remoção de íons H⁺ do meio (Sun *et al.*, 2017).

Quanto ao teor de cinzas, nota-se que os carvões produzidos a partir de hidróxido de sódio apresentam baixos teores de cinzas, com valores entre 3,53 e 5,69%, com exceção do CA-NA-350-3 que apresentou teor de cinzas mais elevado (5,46%).

Estudos sugerem que o NaOH pode reagir com minerais e outras substâncias inorgânicas, formando compostos solúveis que, quando lavados, resultam em menores teores de cinza no carvão ativado final. Yuan *et al.* (2017), por exemplo, demonstram que o NaOH pode servir como um catalisador homogêneo na oxidação seletiva aeróbica de álcoois em água, indicando sua capacidade de interagir com e modificar substâncias inorgânicas. Da mesma forma, Siriphannon *et al.* (1999) ilustram que o NaOH pode ser usado como precipitante na preparação de compostos inorgânicos.

Para o teor de umidade, observa-se que a maioria dos carvões apresentam valores dentro do limite recomendado pela AWWA (2012), que é de no máximo 8%, com exceção do NA350-2 que apresentou um teor de umidade mais elevado (12,90%).

Em geral, pode-se observar que os carvões produzidos com hidróxido de sódio

apresentam baixos teores de cinzas e valores de pH alcalinos, e que os maiores rendimentos são obtidos a temperaturas mais baixas. No entanto, é importante ressaltar que alguns carvões apresentaram teores de umidade acima do recomendado, o que pode afetar sua qualidade como adsorventes.

4.3 Caracterização do adsorvente ativado com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$

Os resultados da caracterização dos adsorventes produzidos com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores médios dos parâmetros de caracterização adsorventes ativados com Sulfato de Alumínio

Carvão	Rendimento (%)	pH	Teor de Cinzas (%)	Teor de umidade (%)
AL250-2	79,50 ± 2,22	3,88 ± 0,09	3,82 ± 0,66	8,11 ± 1,32
AL250-3	55,82 ± 2,59	3,69 ± 0,04	3,05 ± 0,00	7,11 ± 0,57
AL250-4	50,05 ± 1,11	4,02 ± 0,10	5,36 ± 0,90	4,12 ± 0,08
AL300-2	41,48 ± 0,86	3,86 ± 0,13	3,97 ± 0,90	7,48 ± 1,34
AL300-3	34,34 ± 0,69	3,91 ± 0,04	4,31 ± 0,41	6,41 ± 0,67
AL300-4	33,67 ± 2,07	4,17 ± 0,00	4,46 ± 0,44	6,90 ± 1,05
AL350-2	26,91 ± 1,23	4,45 ± 0,40	4,40 ± 0,34	8,19 ± 0,11
AL350-3	27,62 ± 0,39	3,88 ± 0,11	3,98 ± 1,43	5,50 ± 0,19
AL350-4	26,14 ± 7,84	5,01 ± 0,24	6,05 ± 0,73	6,72 ± 0,63
AL400-2	21,79 ± 4,01	5,15 ± 0,49	4,66 ± 1,48	6,43 ± 0,31
AL400-3	24,71 ± 0,69	4,87 ± 0,25	5,91 ± 0,31	4,93 ± 0,27
AL400-4	25,13 ± 1,41	4,97 ± 0,25	7,09 ± 2,51	6,46 ± 0,46

Fonte: Autores (2024).

Observa-se na Tabela 4 que o carvão AL250-2 obteve o maior rendimento (79,5%), seguido pelo AL250-3 (55,82%) e AL250-4 (50,05%). Já os carvões produzidos a temperaturas mais elevadas, como AL400-2, AL400-3 e AL400-4, apresentaram rendimentos menores, com valores em torno de 21 a 25%. Além disso, nota-se uma relação entre a temperatura de queima e o teor de cinzas e umidade, onde os carvões produzidos em temperaturas mais altas apresentam maiores teores de cinzas e menores teores de umidade.

A temperatura de ativação exerce influência significativa sobre as características finais do carvão ativado, particularmente em relação ao teor de cinzas e umidade. A elevação da temperatura durante o processo de ativação pode levar à redução do teor de umidade por meio da desidratação mais intensa, enquanto também pode contribuir para a diminuição da massa orgânica volátil. Este processo de decomposição térmica não só remove a umidade, mas também pode resultar na concentração de componentes minerais, refletindo-se em um aumento no teor de cinzas do produto (Jones *et al.*, 2021).

Todos os carvões apresentam valores de pH ligeiramente ácidos, com variações relativamente pequenas entre eles.

Ao comparar os adsorventes produzidos com diferentes ativadores, observa-se que o maior rendimento foi obtido pelo AL250-2 (79,5%), seguido do ZN250-2 (73,65%) e ZN250-4 (64,27%). Os adsorventes ativados com NaOH obtiveram os rendimentos mais baixos, sendo o maior rendimento obtido por NA250-2 (61,37%) e o menor obtido por NA400-3 (25,25%),

indicando que é preciso utilizar mais massa de material precursor na ativação utilizando NaOH em comparação com os demais agentes.

Quanto ao pH, os adsorventes ativados com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ e ClZn_2 apresentaram valores ligeiramente ácidos (3,69 a 6,14), enquanto os ativados com NaOH tiveram pH mais alcalino (6,57 a 8,14). Analisando o teor de cinzas, os adsorventes ativados com NaOH apresentaram os menores valores em relação aos demais.

No que diz respeito ao teor de umidade, os carvões ativados com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ apresentaram teores variando de 4,12% a 8,11%, dentro do limite recomendado. Os adsorventes de ClZn_2 e NaOH apresentaram teores mais elevados, variando de 5,44% a 12,28% e de 5,95% a 17,85%, respectivamente, com valores acima do limite indicado pela AWWA.

4.4 Ensaios de adsorção de Azul de Metileno

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos para capacidade de adsorção e percentual de remoção do Azul de Metileno, dos adsorventes produzidos com ClZn_2 .

Tabela 5 - Capacidade de adsorção (q) dos CAs produzidos com Cloreto de Zinco e seu respectivo percentual de remoção de azul de metileno.

Adsorvente	Capacidade de Adsorção q (mg.g ⁻¹)	Remoção de Azul de Metileno (%)
ZN250-2	0,98 ± 0,09	65,24 ± 6,05
ZN250-3	1,16 ± 0,01	77,55 ± 0,46
ZN250-4	1,33 ± 0,02	88,78 ± 1,30
ZN300-2	1,39 ± 0,00	93,02 ± 0,07
ZN300-3	1,25 ± 0,00	83,05 ± 0,41
ZN300-4	1,37 ± 0,03	91,69 ± 2,18
ZN350-2	1,34 ± 0,03	89,27 ± 1,96
ZN350-3	1,03 ± 0,02	68,51 ± 1,48
ZN350-4	1,33 ± 0,00	88,44 ± 0,29
ZN400-2	0,29 ± 0,02	19,31 ± 1,15
ZN400-3	0,12 ± 0,06	7,89 ± 4,20
ZN400-4	1,28 ± 0,01	85,59 ± 0,61

Fonte: Autores (2024).

Entre os adsorventes investigados, destacam-se os ZN300-2 e ZN300-4 como os mais eficientes na remoção do corante. O ZN300-2 demonstrou uma notável capacidade de adsorção de 1,39 mg.g⁻¹ e uma taxa de remoção de aproximadamente 93,02%. De maneira semelhante, o ZN300-4 exibiu uma capacidade de adsorção de 1,37 mg.g⁻¹ e uma eficiência na remoção de Azul de Metileno, atingindo cerca de 91,69%.

No entanto, também foi observado que os CAs menos eficientes na remoção do Azul de Metileno foram o ZN400-3 e o ZN400-2. O ZN400-3 atingiu capacidade de adsorção de 0,12 mg.g⁻¹, removendo somente 7,89% do corante, enquanto o ZN400-2 obteve 0,29 mg.g⁻¹ de capacidade de adsorção e 19,31% de remoção do adsorvato.

Observou-se que os adsorventes ativados a 400 °C apresentaram desempenho inferior em comparação com aqueles ativados a 300 °C. Esse fenômeno pode ser atribuído à degradação da estrutura porosa em temperaturas mais altas, reduzindo assim sua capacidade de adsorção.

Xu *et al.* (2021), por exemplo, testaram diversas temperaturas de ativação utilizando ácido fosfórico como agente ativador, e chegaram à conclusão de que temperaturas elevadas, em especial as superiores à 500°C, produziram carvões com menores capacidades de adsorção, devido ao aumento na estrutura de anéis aromáticos e condensados, diminuindo a disponibilidade de sítios ativos, ao grau de grafitação, que torna o material mais ordenado e menos poroso, e à proporção de mesoporos, pois um aumento excessivo nessa proporção em detrimento dos microporos pode levar à perda de área superficial total.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos para capacidade de adsorção e percentual de remoção do Azul de Metileno, dos CAs produzidos com Hidróxido de Sódio.

Tabela 6 - Capacidade de adsorção (q) dos CAs produzidos com Hidróxido de Sódio e seu respectivo percentual de remoção de azul de metileno.

Adsorvente	Capacidade de Adsorção q (mg.g ⁻¹)	Remoção de Azul de Metileno (%)
NA250-2	1,34 ± 0,016	89,55 ± 1,10
NA250-3	1,40 ± 0,002	93,23 ± 0,14
NA300-2	0,85 ± 0,048	56,69 ± 3,20
NA300-3	0,92 ± 0,007	61,63 ± 0,52
NA350-2	0,91 ± 0,009	60,70 ± 0,61
NA350-3	0,73 ± 0,017	48,63 ± 1,20
NA400-2	0,93 ± 0,007	62,30 ± 0,41
NA400-3	1,08 ± 0,002	72,06 ± 0,01

Fonte: Autores (2024).

De acordo com os dados da Tabela 6, os adsorventes mais eficientes na remoção de Azul de Metileno foram o NA250-3 e o NA250-2, com capacidade de adsorção de 1,40 mg.g⁻¹ e 1,34 mg.g⁻¹, respectivamente. A remoção do corante foi da ordem de 93,23% para o NA250-3, e 89,55% para o NA250-2.

Por outro lado, os dois menos eficientes na remoção de Azul de Metileno foram o NA350-3 e o NA300-2. O NA350-3, com capacidade de adsorção de 0,73 mg.g⁻¹ e 0,85 mg.g⁻¹, respectivamente, representando remoção de 48,63% e 56,69%.

Em contraste com os adsorventes preparados com ClZn₂, aqueles ativados com hidróxido de sódio demonstraram um desempenho superior em temperaturas mais baixas. Esse fenômeno pode ser atribuído à natureza mais agressiva do hidróxido de sódio em relação ao material precursor, o que elimina a necessidade de temperaturas elevadas para promover o desenvolvimento da estrutura porosa desejada. Essa observação é respaldada pelo estudo de Xu *et al.* (2021) que investigou o efeito de diversas temperaturas de ativação (400°C, 500°C, 600°C, 700°C e 800°C) sobre as propriedades dos adsorventes. Eles constataram que a ativação a 400°C resultou na maior área superficial e capacidade de adsorção.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados obtidos para capacidade de adsorção e percentual de remoção do Azul de Metileno, dos CAs produzidos com Sulfato de Alumínio.

Tabela 7 - Capacidade de adsorção (q) dos CAs produzidos com Sulfato de Alumínio e seu respectivo percentual de remoção de azul de metileno.

Adsorvente	Capacidade de Adsorção q (mg.g ⁻¹)	Remoção de Azul de Metileno (%)
AL250-2	0,73 ± 0,02	48,69 ± 1,52
AL250-3	0,36 ± 0,06	24,14 ± 4,01
AL250-4	0,24 ± 0,06	16,18 ± 4,09
AL300-2	0,13 ± 0,03	8,96 ± 2,30
AL300-3	0,80 ± 0,00	53,34 ± 0,29
AL300-4	0,52 ± 0,07	34,92 ± 4,52
AL350-2	0,80 ± 0,02	53,01 ± 1,66
AL350-3	0,53 ± 0,05	35,46 ± 3,45
AL350-4	0,48 ± 0,04	32,25 ± 3,02
AL400-2	1,04 ± 0,00	69,04 ± 0,11
AL400-3	0,30 ± 0,05	15,97 ± 0,70
AL400-4	0,27 ± 0,03	19,09 ± 2,12

Fonte: Autores (2024).

O AL400-2 foi o mais eficiente, com uma capacidade de adsorção de 1,04 mg.g⁻¹ e uma remoção de 69,04% do azul de metileno. Por outro lado, o AL300-2 foi o menos eficiente, com uma capacidade de adsorção de apenas 0,13 mg.g⁻¹ e uma remoção de apenas 8,93% do azul de metileno. O resultado indica que a ativação com o sulfato de alumínio em temperaturas mais elevadas e por menos tempo foi mais eficiente no desenvolvimento da estrutura porosa do material, resultado semelhante ao encontrado por Xu *et al.* (2010), que obtiveram maior área superficial (1.547 m².g⁻¹) e maior volume de poros (0,89 cm³.g⁻¹) quando utilizaram 400°C para ativar serragens (provenientes de árvores do gênero Abies).

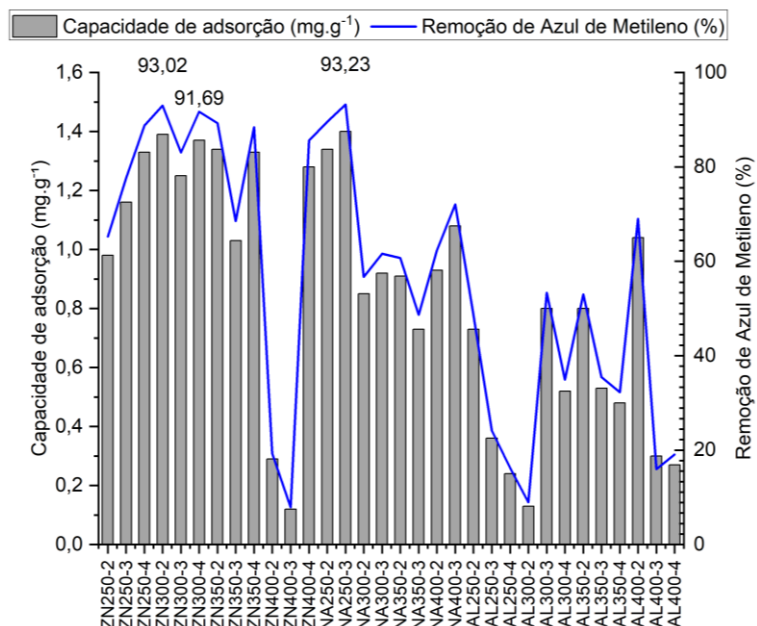
Ainda de acordo com Xu *et al.* (2010), temperaturas superiores ou inferiores à 400°C apresentaram valores menores dos parâmetros supramencionados, indicando que cada carvão terá parâmetros ótimos para sua ativação, que dependerão do material precursor, temperatura, agente químico de ativação, proporção de impregnação, tempo de impregnação, pH e outros.

Na Figura 1 são disponibilizados os resultados de maneira gráfica, destacando a capacidade de adsorção e a taxa de remoção de Azul de Metileno para cada adsorvente estudado.

Entre os adsorventes ativados com Al₂(SO₄)₃.14H₂O, nenhum apresentou remoção de azul de metileno superior a 90%. Em contrapartida, os materiais produzidos com ClZn₂ apresentaram resultados próximos ou acima de 90%. Sendo que os três adsorventes mais eficientes na remoção do azul de metileno foram o NA250-3, ZN300-2 e ZN300-4, que apresentaram, respectivamente, 93,23% (1,40 mg.g⁻¹), 93,02% (1,39 mg.g⁻¹) e 91,69% (1,37 mg.g⁻¹) de remoção.

Embora o adsorvente ativado com NaOH tenha apresentado a melhor remoção, ele teve o menor rendimento entre os três melhores adsorventes, com um rendimento de 36,70%. Em comparação, o ZN300-2 teve um rendimento de 47,61%, e o ZN300-4, de 48,31%. Isso significa que, para capacidades de remoção semelhantes, o ZN300-4 é mais vantajoso, pois seu processo de produção requer uma quantidade menor de material precursor, enquanto ainda atinge a mesma faixa de remoção que os outros adsorventes.

Figura 1 – Capacidade de Adsorção e Remoção de Azul de Metileno por Diferentes Adsorventes



Fonte: Autores (2024).

Outro adsorvente promissor foi o ZN250-4, pois obteve remoção próxima aos três melhores, com 88,78% (1,33 mg.g⁻¹), com rendimento muito superior de 64,27%. Dependendo da aplicação desejada, este adsorvente pode oferecer o melhor custo-benefício.

5 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que os adsorventes produzidos a partir do endocarpo da *Spondias mombin* L. e ativados com diferentes agentes, apresentaram variações significativas em termos de rendimento, teor de cinzas, teor de umidade e pH. Os adsorventes ativados com ClZn₂ e NaOH mostraram-se mais eficientes na remoção do corante azul de metileno, com o NA250-3, ZN300-2 e ZN300-4 atingindo remoções superiores a 90%.

A temperatura de ativação aparentou ter impacto significativo nas propriedades dos adsorventes. Os materiais ativados a temperaturas mais baixas (250 °C a 300 °C) apresentaram melhores rendimentos e capacidades de adsorção, enquanto temperaturas mais elevadas (400 °C) tenderam a degradar a estrutura porosa do precursor, diminuindo a eficiência de adsorção.

O NaOH como agente ativador produziu adsorventes com pH alcalino e baixos teores de cinzas, mas com rendimentos menores. O Al₂(SO₄)₃·14H₂O produziu adsorventes com rendimentos mais elevados, no entanto com eficiência de adsorção inferior aos ativados com ClZn₂ e NaOH.

Entre os adsorventes analisados, o ZN250-4 se destacou por combinar um rendimento elevado, com 64,27%, e remoção do corante azul de metileno, com 88,78% (1,33 mg.g⁻¹), oferecendo melhor equilíbrio entre custo de produção e desempenho adsorvente, podendo ser uma alternativa em aplicações de tratamento de efluentes contendo corantes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARORA, A. K.; GAGNEJA, A. P. S. The association of Hyper-Competitiveness and Consumerism with Ecological and Social degradation: A need for a Holistic and Responsible Approach for Environmental and Psychosocial Rehabilitation. In: **Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)**, 2020. Anais [...]. IEEE, 2020. p. 327-332. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ZINC50678.2020.9161823>>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ASTM INTERNATIONAL. **D2866-11 - Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1520/D2866-11R18>>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- ASTM INTERNATIONAL. **D2867-17 Standard Test Method for Moisture in Activated Carbon**. West Conshohocken, PA: [s.n.]. Disponível em: <<https://doi.org/10.1520/D2867-17>>.
- ATKINS, P.; PAULA, J. DE. **Físico-Química**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021. v. 1
- AWWA, A. W. W. A. **Water treatment plant design**. 5. ed. Denver: McGraw-Hill Education, 2012.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Valor bruto da produção de 2017 é estimado em R\$ 536 bilhões — Ministério da Agricultura e Pecuária**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-bruto-da-producao-de-2017-e-estimado-em-r-536-bilhoes>>. Acesso em: 7 abr. 2023.
- BRITO, G. O. DE; REIS, B. C.; FERREIRA, E. A.; VILELA JUNQUEIRA, N. T.; SÁ-BARRETO, L. C. L.; MATTIVI, F.; VRHOVSEK, U.; GRIS, E. F. Phenolic Compound Profile by UPLC-MS/MS and Encapsulation with Chitosan of *Spondias mombin* L. Fruit Peel Extract from Cerrado Hotspot—Brazil. **Molecules**, v. 27, n. 8, p. 2382, 7 abr. 2022.
- CHOUHAN, Hanumant Singh. A Study Into the Alteration of Physical and Chemical Characteristics of Activated Carbon Surface for Purifying Water. **Ecology, Environment and Conservation**, [s. l.], v. 28, n. 04, p. 2140–2146, 2022.
- CLARK, R. A.; HAYTKO, D. L.; HERMANS, C. M.; SIMMERS, C. S. Social Influence on Green Consumerism: Country and Gender Comparisons between China and the United States. **Journal of International Consumer Marketing**, v. 31, n. 3, p. 177–190, 27 maio 2019.
- DENIZ, F.; KEPEKCI, R. A. Elimination of a common hazardous dye from aqueous solution by a novel alkaline-treated multi-component biosorbent. **Research on Chemical Intermediates**, v. 43, n. 1, p. 561–575, 1 jan. 2017.
- GAO, Z.; LIN, X.; WU, X.; GE, X.; LI, X.; HUANG, Z.; ZHU, J.; HOU, J. Distribution and Pollution Evaluation of Nutrients, Organic Matter and Heavy Metals in Surface Sediments of Wanghu Lake in the Middle Reaches of the Yangtze River, China. **Sustainability**, v. 16, n. 1, p. 86, 21 dez. 2023.
- GEÇGEL, Ü.; KOCABLYLK, B.; ÜNER, O. Adsorptive Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by the Activated Carbon Obtained from the Fruit of *Catalpa bignonioides*. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 226, n. 8, 17 jul. 2015.
- GHOSH, S.; WEBSTER, T. J. Nanotechnology for water processing. Em: **The Future of Effluent Treatment Plants**. Elsevier, 2021. p. 335–360.
- GRYTZ, V. K.; GUERO, I. R. The Use of International Trade Mechanisms by the Brazilian Agribusiness. **Global Trade and Customs Journal**, v. 18, n. Issue 1, p. 21–30, 1 jan. 2023.
- INFANTE, J.; SELANI, M. M.; TOLEDO, N. M. V. DE; SILVEIRA-DINIZ, M. F.; ALENCAR, S. M. DE; SPOTO, M. H. F. Atividade antioxidante de resíduos agroindustriais de frutas tropicais. **Alim. Nutr.= Braz. J. Food Nutr**, v. 24, n. 1, p. 87–91, 2023.
- JIAO, Xuan *et al.* Recyclable Superhydrophobic, Antimoisture-Activated Carbon Pellets for Air and Water Purification. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 12, n. 22, p. 25345–25352, 2020.

JONES, I.; ZHU, M.; ZHANG, J.; ZHANG, Z.; PRECIADO-HERNANDEZ, J.; GAO, J.; ZHANG, D. The application of spent tyre activated carbons as low-cost environmental pollution adsorbents: A technical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, p. 127566, ago. 2021.

MAHAMAD, M. N.; ZAINI, M. A. A.; ZAKARIA, Z. A. Preparation and characterization of activated carbon from pineapple waste biomass for dye removal. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 102, p. 274–280, 1 ago. 2015.

MEDEIROS, L. L. **Remoção de cobre (II) de soluções aquosas por carvões ativados de bagaço de cana-de-açúcar e endocarpo de coco da baía isentos de tratamentos químicos superficiais**. João Pessoa-PB: Universidade Federal da Paraíba, 2008.

PIVOKONSKY, M.; KOPECKA, I.; CERMAKOVA, L.; FIALOVA, K.; NOVOTNA, K.; CAJTHAML, T.; HENDERSON, R. K.; PIVOKONSKA, L. Current knowledge in the field of algal organic matter adsorption onto activated carbon in drinking water treatment. **Science of The Total Environment**, v. 799, p. 149455, dez. 2021.

POPA, N.; VISA, M. The synthesis, activation and characterization of charcoal powder for the removal of methylene blue and cadmium from wastewater. **Advanced Powder Technology**, v. 28, n. 8, p. 1866–1876, 1 ago. 2017.

ROQUE, M. I.; GOMES, J.; REVA, I.; VALENTE, A. J. M.; SIMÕES, N. E.; MORAIS, P. V.; DURÃES, L.; MARTINS, R. C. An Opinion on the Removal of Disinfection Byproducts from Drinking Water. **Water**, v. 15, n. 9, p. 1724, 28 abr. 2023.

SEBASTIÃO, R. DO R. S. DE O.; QUADROS, B. R. DE; PAMPLONA, V. M. S.; NASCIMENTO, W. M. O. DO; CAVARIAN, C. **Tempo e ambientes na conservação de Taperebá (*Spondias mombin* L., Anacardiaceae)** CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL: COMPARTILHANDO CONHECIMENTOS INOVADORES E EXPERIÊNCIAS. **Anais...Instituto Internacional Despertando Vocações**, 2018

SHER, F.; HANIF, K.; RAFEY, A.; KHALID, U.; ZAFAR, A.; AMEEN, M.; LIMA, E. C. Removal of micropollutants from municipal wastewater using different types of activated carbons. **Journal of Environmental Management**, v. 278, p. 111302, jan. 2021.

SIRIPHANNON, P.; HAYASHI, S.; YASUMORI, A.; OKADA, K. Preparation and sintering of CaSiO₃ from coprecipitated powder using NaOH as precipitant and its apatite formation in simulated body fluid solution. **Journal of Materials Research**, v. 14, n. 2, p. 529–536, 31 fev. 1999.

SOUSA, ROBERTO PEQUENO DE; ASSIS, J. P. DE; LIMA, I. R. P. DE; FRANÇA, J. DE A.; SOUSA, ROBSON PEQUENO DE; RODRIGUES, W. M.; CARDOSO, E. DE A.; LINHARES, P. C. F. Biometric analysis of cajazeira fruits (*Spondias mombin* L.) in the northeastern Brazil. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 21, n. 8, p. 8804–8826, 14 ago. 2023.

SUN, Z.; CHAI, L.; SHU, Y.; LI, Q.; LIU, M.; QIU, D. Chemical bond between chloride ions and surface carboxyl groups on activated carbon. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 530, p. 53–59, out. 2017.

VARGAS, A. M. DE M. **Preparação e caracterização de carvões ativados obtidos a partir de vagens de Flamboyant (*Delonix regia*) mediante ativação química com NaOH**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2010.

VUKČEVIĆ, M. M.; KALIJDAS, A. M.; VASILJEVIĆ, T. M.; BABIĆ, B. M.; LAUŠEVIĆ, Z. V.; LAUŠEVIĆ, M. D. Production of activated carbon derived from waste hemp (*Cannabis sativa*) fibers and its performance in pesticide adsorption. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 214, p. 156–165, 30 maio 2015.

XU, B.; CHEN, Y.; WEI, G.; CAO, G.; ZHANG, H.; YANG, Y. Activated carbon with high capacitance prepared by NaOH activation for supercapacitors. **Materials Chemistry and Physics**, v. 124, n. 1, p. 504–509, nov. 2010.

XU, W.; LIU, J.; SUN, K.; LIU, Y.; CHEN, C.; WANG, A.; SUN, H. Effect of activation temperature on properties of H₃PO₄-activated carbon. **BioResources**, v. 16, n. 2, p. 4007–4020, 20 abr. 2021.

YAGUB, M. T.; SEN, T. K.; ANG, H. M. Equilibrium, kinetics, and thermodynamics of methylene blue adsorption by pine tree leaves. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 223, n. 8, p. 5267–5282, set. 2012.



YAHIA, E. **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: fundamental issues**. 1. ed. Cambridge-UK: Woodhead Publishing, 2011.

YAQOOB, A. A.; KHATOON, A.; MOHD SETAPAR, S. H.; UMAR, K.; PARVEEN, T.; MOHAMAD IBRAHIM, M. N.; AHMAD, A.; RAFATULLAH, M. Outlook on the Role of Microbial Fuel Cells in Remediation of Environmental Pollutants with Electricity Generation. **Catalysts**, v. 10, n. 8, p. 819, 22 jul. 2020.

YUAN, Z.-F.; ZHAO, W.-N.; LIU, Z.-P.; XU, B.-Q. NaOH alone can be a homogeneous catalyst for selective aerobic oxidation of alcohols in water. **Journal of Catalysis**, v. 353, p. 37–43, set. 2017.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Antônio Jorge Silva Araújo Junior e Luiza Carla Girard Mendes Teixeira
 - **Curadoria de Dados:** Antônio Jorge Silva Araújo Junior e Marina Scarano Corrêa.
 - **Análise Formal:** Antônio Jorge Silva Araújo Junior
 - **Aquisição de Financiamento:** Luiza Carla Girard Mendes Teixeira
 - **Investigação:** Antônio Jorge Silva Araújo Junior e Marina Scarano Corrêa
 - **Metodologia:** Antônio Jorge Silva Araújo Junior, Marina Scarano Corrêa, Luiza Carla Girard Mendes Teixeira e Maurício Alves da Motta Sobrinho
 - **Redação - Rascunho Inicial:** Antônio Jorge Silva Araújo Junior e Marina Scarano Corrêa
 - **Redação - Revisão Crítica:** Luiza Carla Girard Mendes Teixeira e Maurício Alves da Motta Sobrinho
 - **Revisão e Edição Final:** Antônio Jorge Silva Araújo Junior e Marina Scarano Corrêa.
 - **Supervisão:** Luiza Carla Girard Mendes Teixeira e Maurício Alves da Motta Sobrinho
-

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Antônio Jorge Silva Araújo Junior, Marina Scarano Corrêa, Luiza Carla Girard Mendes Teixeira, Maurício Alves da Motta Sobrinho, declaramos que o manuscrito intitulado "*Síntese e Caracterização de Bioadsorvente de Spondias mombin L. para Remoção de Azul de Metileno utilizando $ClZn_2$, $NaOH$ e $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$* ":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Este trabalho foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) através da concessão de bolsa de doutorado.
2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.