DESENVOLVIMENTO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA CASCA DA SEMENTE DE SERINGUEIRA IMPREGNADO COM PRATA PARA A PURIFICAÇÃO DE ÁGUA

Josiane de Almeida Freire[1], Gabriel Felipe Rohling[2], Vitória dos Santos Cezar[1], Fernanda Oliveira Lima[1], Letiére Cabreira Soares[1]

[1]Universidade Federal da Fronteira Sul, Realeza, Brasil
(josianealmeidafreire@gmail.com)
[2]Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, Brasil

Resumo: Diante da crescente poluição hídrica em escala mundial, este trabalho produziu e caracterizou carvão ativado a partir da casca de semente de seringueira impregnado com prata para remoção de corantes e desinfecção. O carvão ativado revelou estrutura microporosa (índice de iodo: 607,56 mg/g). Nos ensaios com azul de metileno, a eficiência superou 98%. Na desinfecção, a filtração reduziu 91,55% da carga de coliformes. Os resultados provam a viabilidade do resíduo para purificar a água.

Palavras-chave: Hevea brasiliensis; Adsorção; Prata; Coliformes; Economia Circular.

INTRODUÇÃO

Os surtos de doenças infecciosas causador por bactérias patogênicas e o crescente desenvolvimento de resistência a antibióticos impulsionam a busca por novos agentes antibacterianos. Nesse cenário, o desenvolvimento de materiais com propriedades antimicrobianas desperta considerável interesse, desempenhando papel crucial na prevenção e controle de agentes microbiológicos nocivos em ambientes industriais, hospitalares e domiciliares (Ribeiro, 2014). Aliado a isso, a poluição da água configura-se hoje como um dos principais desafios ambientais globais, gerando efeitos adversos sobre espécies aquáticas e comprometendo o progresso socioeconômico sustentável (Mohd Azani et al., 2019).

Como estratégia para mitigar esses impactos, a utilização de adsorventes produzidos a partir de resíduos agroindustriais tem se mostrado uma alternativa promissora. Esses materiais apresentam baixo custo e complexidade, e a adsorção é considerada uma técnica de desempenho superior em relação a outros, pois possibilita a reutilização da água após o processo de purificação. Além disso, trata-se de um processo altamente flexível, simples, de fácil operação e insensível a compostos tóxicos. No âmbito da remoção de contaminantes em meio aquoso, o carvão ativado é um dos adsorventes mais utilizados devido à sua capacidade de interagir quimicamente com as moléculas, gerando um alta taxa de remoção, graças à sua grande área superficial específica (Costa, Furmanski e Dominguini, 2015).

Nesse contexto, a semente de seringueira (*Hevea brasiliensis*) destaca-se como um precursor de baixo custo e alta disponibilidade para produção de carvão ativado, especialmente em polos produtores de borracha. O reaproveitamento da casca dessa semente, frequentemente descartada como resíduo agroindustrial, atende aos preceitos da economia circular ao transformar um passivo ambiental em um produto de alto valor agregado.

Todavia, o carvão ativado, embora amplamente eficiente na remoção de contaminantes químicos devido à sua alta área superficial e capacidade absortiva, é altamente suscetível à colonização microbiana e à subsequente formação de biofilmes em sua estrutura quando aplicado em sistemas de filtração. Essa transição para um meio biologicamente ativo altera a dinâmica do tratamento, combinando os efeitos da adsorção física com a biodegradação de compostos (Passeport e Hofmann, 2022).

Para superar essa limitação, a modificação superficial via impregnação com prata emerge como uma solução eficaz, prevenindo a colonização microbiana através da ação bactericida do metal, sem induzir efeitos tóxicos secundários (Dutta et al., 2024; Bestawy, Showman e Fahmy, 2026).

Diante da necessidade de tecnologias eficientes para purificação hídrica, este trabalho tem como objetivo produzir e caracterizar o carvão ativado a partir da casca da semente de seringueira impregnado com prata. Neste trabalho, buscamos avaliar a eficiência do material na adsorção do corante azul de metileno e na redução da carga microbiológica de águas superficiais, validando seu desempenho frente aos padrões de potabilidade e balneabilidade vigentes.

MATERIAL E MÉTODOS

As sementes para a produção do carvão ativado foram fornecidas pela empresa Kaiser Agro, pela Associação Paulista de Produtores de Borracha (APABOR) e TH Tonus, da cidade de São José do Rio Preto, SP. Inicialmente, as sementes foram lavadas, secadas e tiveram suas cascas separadas do endosperma, sendo que os ensaios subsequentes utilizaram apenas a fração da casca. Estas foram trituradas em um granulometria de 0,8 - 2,5 mm e submetidas à carbonização em mufla a 600 °C por 1 h, sob atmosfera inerte de nitrogênio, seguindo-se a ativação química com hidróxido de sódio (NaOH).

A impregnação com prata baseou-se na metodologia de Rengga et al. (2017), onde adicionou-se 4 mL de solução de nitrato de prata ($AgNO_3$ 0,1 mol/L) em 1 L de solução aquosa de amido solúvel (0,15% m/m), atuando como agente redutor. A mistura foi agitada vigorosamente por 1 h sob atmosfera de nitrogênio e o pH ajustado para 8,0 com NaOH 0,1 mol/L. O sistema foi mantido a 50 °C por 24 h e, em seguida, adicionou-se 107,9 g do carvão ativado, mantendo-se a agitação por mais 24 h. Ao término, o carvão foi lavado com água destilada e seco em estufa a 105 °C por 12 h.

Procedeu-se à caracterização físico-química do carvão ativado produzido e impregnado com prata por meio da determinação do teor de umidade, matéria volátil, cinzas, teor de carbono fixo e número de iodo, conforme a norma ABNT MB-3410. Também se realizou um ensaio de capacidade adsorvente do material utilizando azul de metileno nas concentrações de 10, 25, 100, 250 e 500 mg/L em contato com 50 mg do carvão ativado.

Para os ensaios de filtração, utilizaram-se colunas de vidro com 50 cm de altura e 1,8 cm de diâmetro. No interior de cada coluna foi adicionada uma camada de 3,1 cm de altura de carvão ativado impregnado com prata, correspondendo a 3 g do material adsorvente. Posteriormente, foi filtrado 1 L de água coletada no lago municipal de Realeza – PR. Amostras de água bruta (amostra 1) e filtrada (amostra 2) foram reservadas para análises microbiológicas posteriores em 3 etapas, realizadas pela técnica de tubos múltiplos com diluições decimais seriadas.

Etapa 1 – Nesta etapa, realizou-se um teste presuntivo para coliformes totais, onde preparou-se três diluições sucessivas das amostras. Para cada diluição, inoculou-se 1 mL em séries de três tubos contendo 9 mL de Caldo Lauril Sufalto Triptose (LST) e tubos de Durham invertidos (totalizando 9 tubos por amostra). Os tubos foram incubados em estufa a 37 °C por 24 h. A leitura foi realizada de forma visual, considerando-se como resultado positivo a formação de gás no interior dos tubos de Durham.

Etapa 2 – Realizou-se o teste confirmativo para coliformes totais, onde a partir de cada tubo positivo de LST, realizou-se a repicagem para tubos contendo caldo Verde Brilhante Bile (VB). Estes foram incubados a 37 °C por 24 h, sendo a presença de coliformes totais confirmada visualmente pela nova produção de gás. Simultaneamente, realizou-se a repicagem para confirmação de *E. coli* termotolerante em caldo EC-MUG. Por se tratar de microrganismos termotolerantes, a incubação foi realizada a 45 °C por 24 h. A confirmação ocorreu pela visualização da formação de gás.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização físico-química do carvão ativado com prata são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização físico-química do carvão ativado de seringueira impregnado com prata.

Parâmetro	Resultado
Cinzas (%)	4,47 ± 0,07
Umidade (%)	9,42 ± 0,10
Material volátil (%)	86,5 ± 0,098
Carbono (%)	9,01 ± 0,087
Iodo (mg I_2/g)	607,56 ± 0,0043

O teor de cinzas (4,47%) indicou valores adequados para materiais adsorventes, uma vez que teores acima de 20% são considerados prejudiciais por representarem a fração mineral residual, capaz de reduzir a área superficial disponível para adsorção (Oliveira, 2014). Esse resultado demonstra que o processo de carbonização e ativação foi eficiente na preservação da estrutura carbonácea. O teor de umidade (9,42%) mostrou-se compatível com carvões de resíduos agroindustriais, como o de caroço de pêssego (8,58%) relatado por Heylmann (2015), indicando que o material não retém água excessivamente, o que favorece sua estabilidade.

O alto teor de materiais voláteis (86,5%) assemelha-se aos resultados de Silva (2022) com vagem de Flamboyant. Por outro lado, o baixo teor de carbono observado é atribuído às características da matéria-prima e às condições de carbonização (Ganjoo et al., 2023). Quanto à microporosidade, o índice de de iodo médio (607,56 mg I_2/g) atendeu aos padrões da ABNT (1991), que estipula valores superiores a 600 mg I_2/g para a comercialização de carvão ativado, confirmando sua capacidade de adsorver moléculas pequenas.

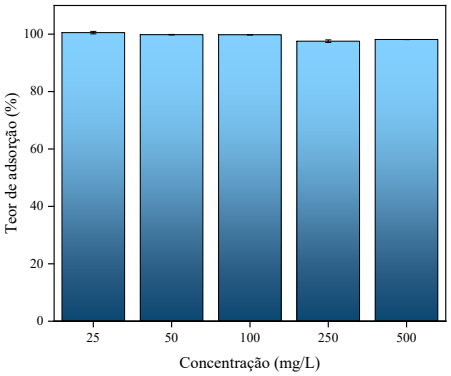


Gráfico 1. Adsorção de azul de metileno em 50 mg de carvão ativado.

A capacidade adsortiva do material foi avaliada via remoção de azul de metileno (Gráfico 1), apresentando uma eficiência de remoção superior a 98% em todas as concentrações testadas. Em comparação ao estudo de Modh Azani et al. (2019), que utilizou 5 g de carvão da casca da semente de seringueira para obter 98,71% de adsorção a 100 ppm, o presente estudo obteve resultados comparáveis utilizando uma massa 100 vezes menor (50 mg), evidenciando a alta eficiência do material produzido.

Nas análises microbiológicas, a água bruta apresentou contaminação elevada (>1100 NPM/100 mL para coliformes totais e termotolerantes). Após a filtração, observou-se uma redução expressiva para 93 NMP/100 mL, representando uma eficiência de remoção de aproximadamente 91,55%. Este desempenho é corroborado por Zieliński e colaboradores (2018), que apontam a temperatura de 600 °C como ideal para maximizar a eficiência de remoção de contaminantes.

Considerando os parâmetros da Resolução CONAMA n° 274/2000, que estabelece o limite de 250 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes para água de balneabilidade excelente, o carvão ativado produzido demonstrou desempenho superior aos requisitos ambientais vigentes, mostrando-se promissor para o tratamento de águas superficiais.

CONCLUSÃO

Neste estudo, foram apresentadas as etapas de produção, caracterização e avaliação do desempenho do carvão ativado produzido a partir da casca da semente de seringueira e impregnado com prata. Os resultados da caracterização físico-química demonstraram que o material apresenta propriedades adequadas para aplicação como adsorvente, com teor de cinzas reduzido, umidade compatível com materiais similares descrito na literatura e número de iodo superior a 600 mg I_2/g, o que confirma uma estrutura microporosa desenvolvida e alto potencial para adsorção de moléculas de pequeno tamanho.

Quanto à capacidade adsortiva frente ao azul de metileno, o material apresentou percentual de remoção superior a 98% em todas as concentrações, demonstrando alta eficiência mesmo com o emprego de reduzidas quantidades de adsorvente. Nas análises microbiológicas, a impregnação com prata promoveu uma redução de 91,55% na carga inicial de coliformes totais e termotolerantes, atingindo 93 NMP/100 mL. Este desempenho atende aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 274/2000, reforçando a eficácia do material na purificação de águas contaminadas.

Os resultados confirmam a viabilidade técnica do carvão ativado de seringueira e ressaltam o potencial de continuidade da pesquisa para aplicações práticas. O desenvolvimento desta tecnologia alia o reaproveitamento de resíduos agroindustriais à criação de soluções sustentáveis e de baixo custo para o tratamento de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Kaiser Agro, à APABOR e a TH Tonus pelo fornecimento das sementes e material de pesquisa, e à Universidade Federal da Fronteira Sul pelo financiamento e disponibilidade do espaço para realização do estudo.

REFERÊNCIAS

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB-3410: Carvão ativado - Determinação do número de iodo**. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB-3410: Carvão ativado - Determinação de umidade, cinzas e materiais voláteis**. Rio de Janeiro, 1991.

BESTAWY, Ebtesam El; SHOWMAN, Marwa; FAHMY, Youstina Demian. New approach for drinking water disinfection and purification using silver nano particles/activated carbon composite. **Applied Water Science**, 2026.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar. 2005.

COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, Caracterização e Aplicação de Carvão Ativado de Casca de Nozes para Adsorção de Azul de Metileno. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, 2015.

DUTTA, Tanmoy et al. Antimicrobial silver nanoparticles for water disinfection: a short review on recent advances. **Nanotechnology for Environmental Engineering**, v. 9, n. 1, p. 111-131, 2024.

GANJOO, R.; SHARMA, S.; KUMAR, A.; ARÊMOU, D. Carvão ativado: fundamentos, classificação e propriedades. **Carvão ativado: Progresso e Aplicações**, p. 1-22, 2023.

HEYLMANN, K. K. A. Production, caracterização e aplicação do carvão ativado de caroço de pêssego no tratamento de efluentes têxtil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 485-494, 2021.

MOHD AZANI, N. F. S. et al. Characterisation and kinetic studies on activated carbon derived from rubber seed shell for the removal of methylene blue in aqueous solutions. **Journal of Physical Science**, v. 30, n. 2, p. 1-17, 2019.

OLIVEIRA, L. F. S. **Estudo da formação de biofilmes de pseudomonas aeruginosa em carvão ativado impregnado com prata**. (Ed. UEG). Editora Acadêmica, Anápolis, 2014.

RENGGA, Wara Dyah Pita et al. Silver nano-particles deposited on bamboo-based activated carbon for removal of formaldehyde. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. 2, p. 1657-1665, 2017.

RIBEIRO, G. V. **Obtenção de carvão ativado impregnado com prata para fins bactericidas**. (Ed. UFSM). Manancial - Repositório Digital da UFSM, Santa Maria, 2014.

SILVA, Alexandre Cotrin da. **Produção de carvão ativado a partir da pirólise de vagens de flamboyant (Delonix Regia)**. (Ed. UFMS). Editora Universitária, Campo Grande, 2022.

YUAN, Jie; PASSEPORT, Elodie; HOFMANN, Ron. Understanding adsorption and biodegradation in granular activated carbon for drinking water treatment: a critical review. **Water research**, v. 210, p. 118026, 2022.

ZIELIŃSKI, M. et al. Biochar as a sorbent for the removal of bacterial contaminants from drinking water. **Journal of Environmental Management**, v. 229, p. 215-228, 2018.