



Remoção de poluentes em efluentes líquidos por meio de superadsorventes derivados de biomassa residual: avaliação da capacidade e da eficiência de adsorção de corantes sintéticos

Laís Mariot dos Santos | lais.ms18@aluno.ifsc.edu.br¹
Sthefani Silva Luciano | sthefani.sl2006@aluno.ifsc.edu.br¹
Júlia Mariot | julia.m18@ifsc.edu.br²
Riani Freitas Comin | riani.fc@ifsc.edu.br²
Graziele Vefago Boaventura Possenti | graziele.vefago@ifsc.edu.br³
Rodrigo Battisti | rodrigo.battisti@ifsc.edu.br⁴

Edital n°03/2025/PROPPi-PIBITI

Trabalho de Pesquisa

DT 2 - Meio Ambiente, Agroindústrias, Territórios e Sustentabilidade Socioambiental

Resumo: O reaproveitamento de resíduos agroindustriais para o tratamento de efluentes é uma estratégia eficaz para a redução de impactos ambientais. Este estudo apresenta a síntese e caracterização de um hidrogel com capacidade superadsorvente a partir da biomassa da pós-colheita da banana, visando a remoção do corante azul de metileno. A metodologia envolveu a síntese da carboximetilcelulose (CMC) a partir da biomassa agrícola, e posteriormente a produção do hidrogel por meio das reações de polimerização e reticulação da CMC. A caracterização química por meio da técnica de espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) confirmou a modificação estrutural da celulose e a formação da rede polimérica do hidrogel. Os ensaios de adsorção demonstraram que o hidrogel removeu 90,6 % do contaminante. Desta forma, fica evidenciado a viabilidade do uso da biomassa da pós-colheita da banana como matéria-prima para produção de um material superadsorvente, oferecendo uma solução técnica sustentável para a descontaminação de efluentes.

Palavras-chave: biomassa; hidrogéis; adsorção; efluentes; azul de metileno.

Introdução

Os esforços da comunidade científica nos últimos anos estão voltados para a produção de recursos sustentáveis. A biomassa lignocelulósica é considerada uma matéria-prima promissora, devido à sua alta disponibilidade, baixo custo e biodegradabilidade, contribuindo para a mitigação de gases de efeito estufa.

¹ Estudantes do curso de Licenciatura em Química do IFSC Câmpus Criciúma.

² Estudantes do curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio do IFSC Câmpus Criciúma.

³ Servidora Técnica de Laboratório em Química do IFSC Câmpus Criciúma.

⁴ Docente orientador do projeto do IFSC Câmpus Criciúma.

Os hidrogéis desenvolvidos a partir da biomassa têm sido utilizados como adsorventes para a remoção de contaminantes em efluentes, representando assim uma alternativa promissora. Atividades da indústria têxtil, por exemplo, produzem grandes quantidades de águas residuais, podendo conter inúmeros contaminantes, os quais podem afetar negativamente o meio ambiente. Na cidade de Criciúma e região, a banana tem sido a cultura agrícola mais cultivada em plantações locais, sendo que esse setor gera toneladas de biomassa que são simplesmente descartadas, gerando um passivo ambiental, que pode ser reaproveitado.

Diante disto, o presente estudo se destinou a reaproveitar esse resíduo ainda pouco explorado, proveniente da pós-colheita da banana, visando a produção de hidrogéis superadsorventes com vistas à remoção de corantes sintéticos presentes em efluentes líquidos.

Fundamentação teórica

O avanço industrial, sobretudo no setor têxtil, gera efluentes com alta carga de corantes que não aderem totalmente às fibras. Esse descarte compromete comunidades dependentes desses recursos para higiene e consumo (Adegoke; Bello, 2015). A fiscalização da potabilidade é crucial, pois concentrações mínimas, em torno de 1,0 mg/L, já alteram visualmente a água, inviabilizando o uso humano.

Além de obstruir a luminosidade necessária à flora aquática, esses pigmentos possuem potencial tóxico, mutagênico e carcinogênico, podendo causar falhas renais, hepáticas e danos ao sistema nervoso central. A descoloração de efluentes tornou-se, portanto, uma prioridade ecológica. Frente a isso, as indústrias têm buscado métodos de tratamento que aliem eficácia e viabilidade (Milani *et al.*, 2025).

Embora a literatura apresente técnicas químicas, físicas e biológicas, altos custos e complexidade de resíduos secundários limitam aplicações em larga escala. Nesse cenário, subprodutos agrícolas surgem como alternativa valiosa por serem renováveis e abundantes. A conversão desses resíduos em materiais adsorventes agrega valor econômico e reduz custos de descarte, consolidando-se como matéria-prima promissora frente aos agentes comerciais (Roa *et al.*, 2021).

Procedimentos metodológicos

A matéria-prima para a obtenção do biopolímero celulósico carboximetilcelulose (CMC) foi purificada segundo Santos *et al.* (2025), enquanto a síntese da CMC seguiu a metodologia proposta por Haleem *et al.* (2014). A preparação iniciou com a alcalinização de 2,0 g de celulose em solução de isopropanol e NaOH (2 h/25 °C). Em seguida, realizou-se a eterificação com 5,0 g de ácido cloroacético por 3 h a 60 °C. Após, o sólido foi suspenso em metanol, neutralizado com ácido acético e filtrado em papel Whatman nº 4 e seco em estufa a 60 °C por 24 h.

O hidrogel foi sintetizado via polimerização em solução, baseado em Hassan *et al.* (2025). Foram dissolvidos 1,2 g de CMC em 30 mL de água (60 °C/30 min), seguida da adição de persulfato de potássio. O ácido acrílico foi neutralizado com KOH em gelo e vertido ao reator com 0,144 g de N,N'-Metilenobisacrilamida. Após 10 min de agitação, a temperatura foi elevada a 70 °C por 2 h para a reticulação final e formação da estrutura tridimensional do polímero. Por fim, manteve-se em estufa a 73 °C até a sua utilização.

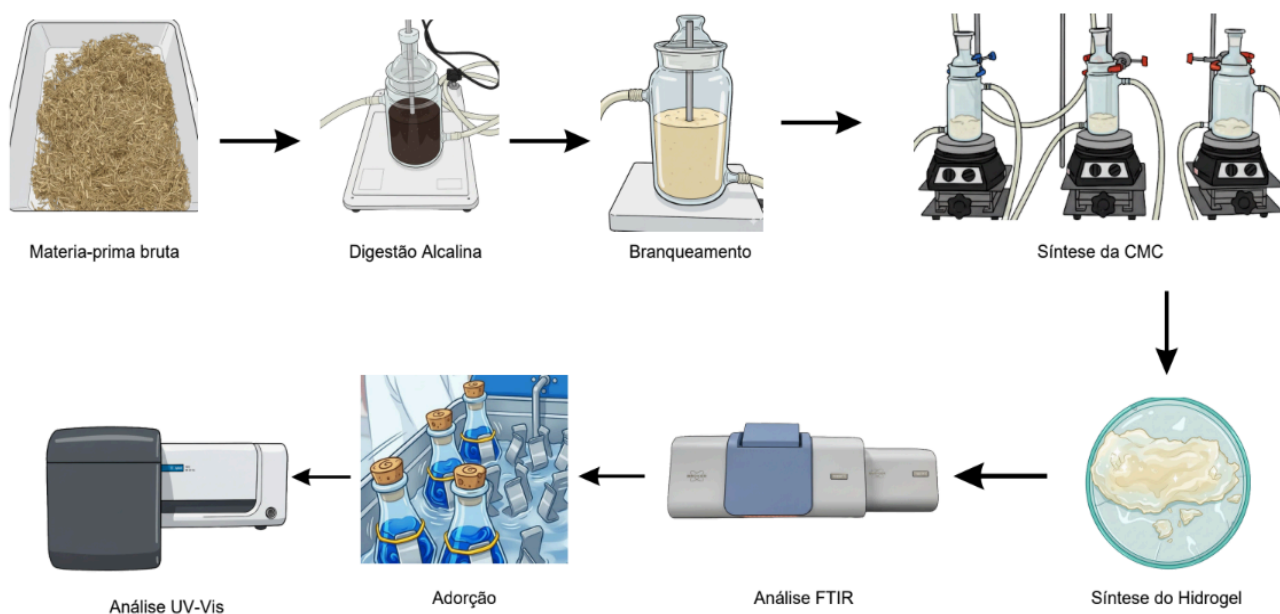
A capacidade de adsorção foi avaliada conforme metodologia proposta por Peighambardoust *et al.* (2025). Inicialmente 0,25 g do hidrogel foram adicionados à 50 mL de solução de AM (10 mg/L). O experimento foi conduzido por 80 min em um banho-maria Dubnoff à 30 °C, coletando-se alíquotas em tempos predeterminados, para posterior leitura em espectrofotômetro UV-Vis da marca Agilent®, modelo Cary 60.

Por fim, foi realizada a caracterização química das amostras de matéria-prima bruta, biopolímero (CMC) e hidrogel, para a confirmação das rotas de síntese por meio do equipamento de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier, da marca Bruker®, modelo INVENIO S.

Resultados e discussões

As etapas de obtenção do hidrogel, desde a matéria-prima bruta (resíduo da pós-colheita da banana), passando pela digestão alcalina e branqueamento, síntese da CMC, até a adsorção do corante AM, estão ilustradas na Figura 1, a seguir.

Figura 1 - Fluxograma das etapas do processo de obtenção e aplicação do hidrogel



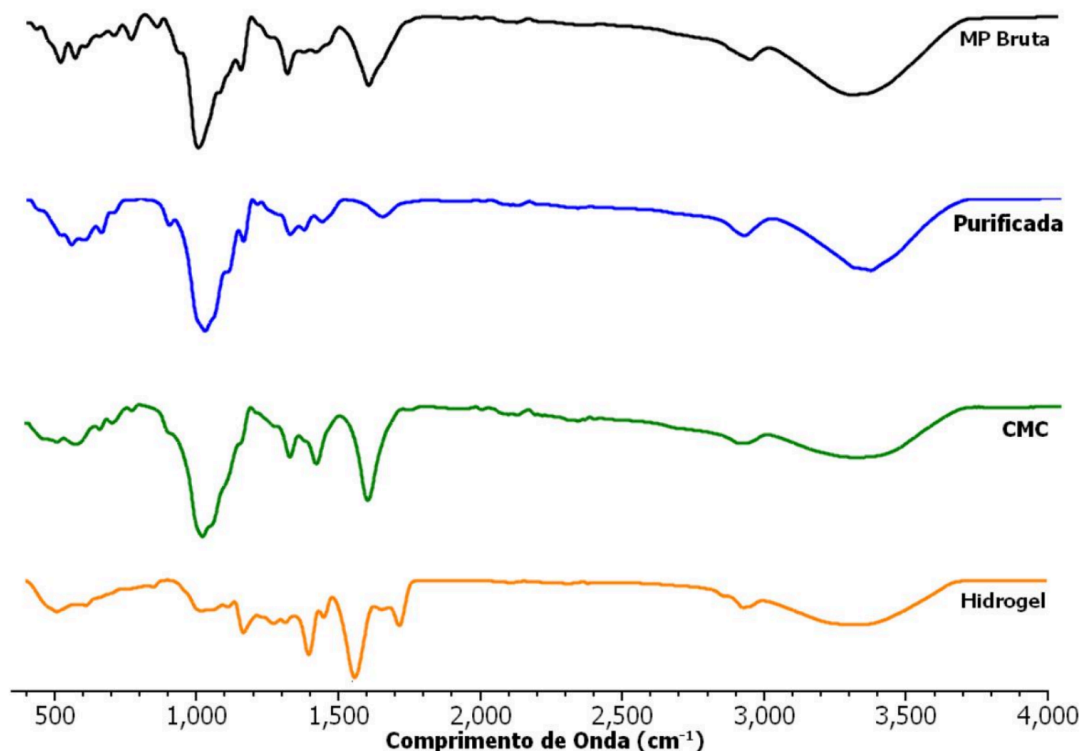
Fonte: Autores (2026).

Com intuito de identificar os grupamentos químicos presentes nos compostos, visando confirmar a síntese dos materiais produzidos, foi realizada a análise de FT-IR, conforme mostrado na Figura 2.

A síntese da CMC foi confirmada pela diminuição do pico, em aproximadamente 3300 cm^{-1} , sinalizando a remoção do grupo hidroxila (OH^-) presente nas amostras de celulose branqueada e bruta. Além disso, o espectro da CMC apresentou picos característicos em 1591 cm^{-1} grupo carboxilato ($-\text{COOH}$), e 1413 cm^{-1} grupo carboximetil ($-\text{CH}_2-\text{COOH}$) (Mondal; Yeasmim; Rahman, 2015).

A síntese do hidrogel foi confirmada pela bandas características em 3345 cm^{-1} , a qual indica vibração de estiramento O-H provenientes de associação polimérica, além do pico em 1715 cm^{-1} originário do grupo funcional aldeído, éster ou carboxílico, e por fim, o pico característico em 1558 cm^{-1} , um possível indicativo da reação de aromatização que ocorre na síntese do hidrogel, estiramento $\text{C}=\text{C}$ de alcenos cíclicos com um anel aromático (Hassan *et al.*, 2025).

Figura 2 - Espectros de FT-IR dos materiais



Fonte: Autores (2026).

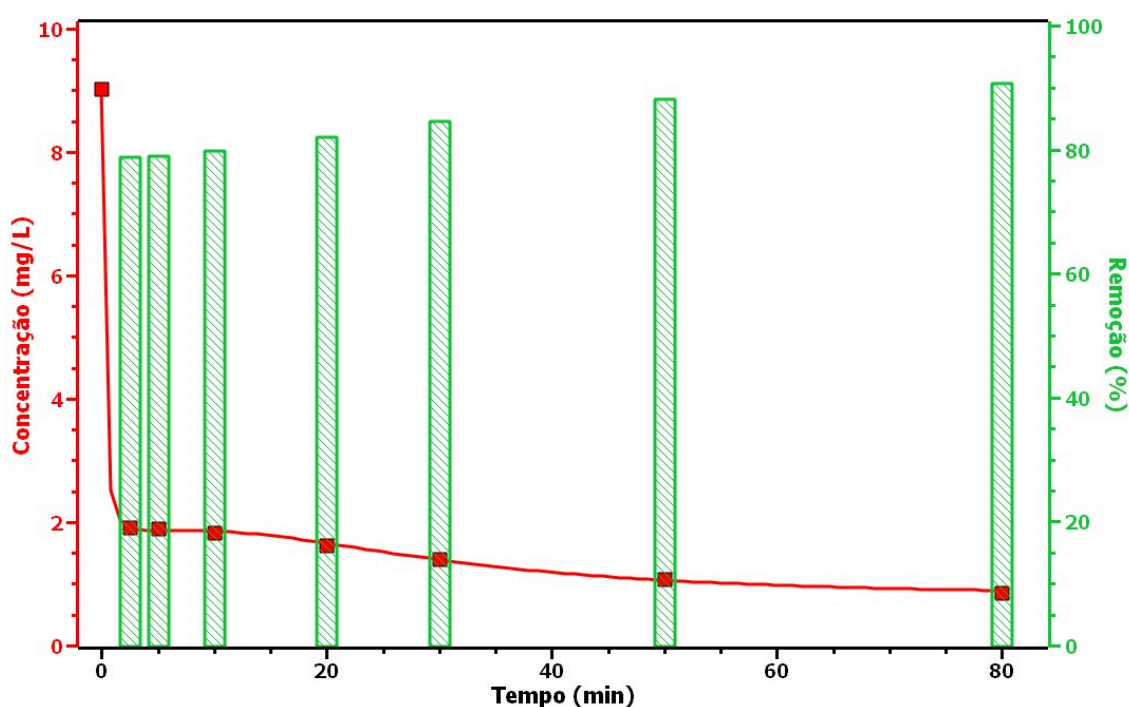
Para a avaliação da capacidade adsortiva do hidrogel produzido, o experimento de adsorção com corante AM com concentração inicial conhecida (10 mg/L) foi conduzido. Com isso, pode-se plotar um gráfico da cinética de adsorção juntamente com o percentual de remoção de corante ao decorrer do tempo, ilustrado na Figura 3.

Conforme pode se observar, a remoção ultrapassa os 90 % após 80 minutos de contato, demonstrando a eficiência do processo. Notavelmente, a maior parte da remoção ocorre de forma acelerada nos primeiros 5 minutos, sugerindo uma alta afinidade entre o agente de tratamento (hidrogel de CMC) e o contaminante (AM), visto que a abundância inicial de sítios ativos desocupados facilita a captura imediata do contaminante (Li *et al.*, 2022).

Após esse período, o sistema transita para uma fase de remoção lenta até atingir o equilíbrio termodinâmico, decorrente da saturação gradual dos sítios de adsorção. É relevante destacar que o processo atuou de forma estável sob temperaturas ligeiramente acima da ambiente (30 °C). Segundo Moraes *et al.* (2018), a ausência de aquecimento

excessivo (como em patamares de 50 °C) é benéfica, pois evita a desestabilização das interações entre o adsorvente (hidrogel de CMC) e o adsorvato (AM), garantindo a integridade da eficiência observada.

Figura 3 - Cinética de adsorção do corante AM



Fonte: Autores (2026).

Considerações finais

Este estudo demonstrou a viabilidade técnica da transformação de resíduos pós-colheita da banana em um hidrogel superadsorvente, com a finalidade de remover contaminantes em efluentes líquidos. A síntese da CMC, bem como a do hidrogel foram exitosas, apresentando picos característicos dos grupamentos químicos presentes nestes materiais. O processo de adsorção ocorreu de maneira eficiente, demonstrando uma capacidade de remoção ultrapassando os 90 % do corante presente. Sendo assim, esse trabalho reforça a importância de explorar resíduos agroindustriais de baixo custo, reduzindo o impacto ambiental e desenvolvendo materiais de alto valor agregado.



Referência ao fomento recebido

Agradecemos o apoio financeiro do Instituto Federal de Santa Catarina (Edital 03/2025/PROPPI-PIBITI), ao CNPq e à Finep.

Referências

ADEGOKE, K. A.; BELLO, O. S. Dye sequestration using agricultural wastes as adsorbents. **Water Resources and Industry**, v. 12, p. 8-24 2015.

HALEEM, N.; ARSHAD, M.; SHAHID, M.; TAHIR, M. A. Synthesis of carboxymethyl cellulose from waste of cotton ginning industry. **Carbohydrate Polymers**, v. 113, p. 249-255, 2014.

HASSAN, M. A.; AL-SHEMY, M. T.; KAMAL, K. H.; STRACHOTA, B.; STRACHOTA, A.; PAVLOVA, E.; KONEFAŁ M.; KAMEL, S. Hydrogel-activated hydrochar synergy for efficient wastewater purification: tackling imidacloprid pesticides and crystal violet dye. tackling imidacloprid pesticides and crystal violet dye. **Applied Water Science**, 197, 2025.

LI, P.; ZHOU, M.; LIU, H.; LEI H.; JIAN, B.; LIU R.; LI X.; WANG Y.; ZHOU B. Preparation of green magnetic hydrogel from soybean residue cellulose for effective and rapid removal of copper ions from wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 5, p. 108213, 2022.

MONDAL, I. H.; YEASMIN, S.; RAHMAN, S. Preparation of food grade carboxymethyl cellulose from corn husk agrowaste. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 79, p. 144-150, 2015.

PEIGHAMBARDOUST, S. J.; FAKHIMINAJAFI, B.; PAKDEL, P. M.; AZIMI, H. Simultaneous elimination of cationic dyes from water media by carboxymethyl cellulose-graft-poly(acrylamide)/magnetic biochar nanocomposite hydrogel adsorbent. **Environmental Research**, v. 273, p. 121150, 2025.

MILANI, L. A. P.; ZANETTE, A. C. C.; DAUZACHER, N. B. R. O.; CRIPPA, D. D.; POSSENTI, G. V. B.; BATTISTI, R.. Sustainable Bio-Adsorbents From Banana P Agricultural Residues: Kinetics, Equilibrium, and Mechanism Prospection of Methylene Blue Dye Adsorption. **CLEAN – Soil, Air, Water**, 53, 2025.

MORAIS, R.M.; RODRIGUES, E.M.S.; ALMEIDA, O.; ZAMIAN, J.R. ; MORAES, D.S.; PEREIRA, R.X.; CARDOSO, E.S. A AÇÃO DA TEMPERATURA NO PROCESSO DE ADSORÇÃO DA RODAMINA B SOBRE Bi₂WO₆. **Anais do 58º CBQ**, São Luís, 2018.



ROA, K.; OYARCE, E.; BOULETT, A.; ALSAMMAN, M.; OYARZÚN, D.; PIZARRO, G. D. C.; SÁNCHEZ, J. Lignocellulose-based materials and their application dyes from water: A review. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 29, e00320, 2021.

SANTOS, L. M. DOS; SOUZA, J. B. G. DE; PAZ, L. M. C. G.; PEREIRA I. S.; POSSENTI, G.V.B.; BATTISTI, R. PRODUÇÃO DE HIDROGÉIS BIOPOLIMÉRICOS A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS DA PÓS-COLHEITA DA BANANA. **Anais do 11º Sepei**, Palhoça, 2025.