CASCA DE SOJA FUNCIONALIZADA COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE FERRO PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES EMERGENTES

Mayra Farias Costa Gasperin (PIBIC/CNPq/UEM), Rosângela Bergamasco. E-mail: rbergamasco@uem.br.
Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Química / Tecnologia Química.

Palavras-chave: Casca de soja, adsorvente, sertralina.

RESUMO

O desafio ambiental gerado pela presença de fármacos em recursos hídricos e seus potenciais efeitos sobre organismos aquáticos, destacam a necessidade de métodos eficientes para sua remoção. Neste trabalho, avaliou-se a utilização da casca de soja funcionalizada com nanopartículas de óxido de ferro (CS-Fe) como adsorvente para a remoção de sertralina em meio aquoso. Foram estudados efeitos de massa de adsorvente, pH, cinética e temperatura, além da caracterização do material por MEV, FTIR e potencial zeta. *A CS-Fe* apresentou melhor desempenho com massa de 25 mg, pH 7, atingindo equilíbrio em 120 minutos e capacidade adsortiva de 17,4 mg g^{-1}. Os modelos de Langmuir e Sips apresentaram melhor ajuste aos dados de equilíbrio, indicando uma superfície heterogênea e elevada afinidade pela sertralina. Logo, a casca de soja provou-se ser um adsorvente de baixo custo e elevada eficiência de adsorção.

INTRODUÇÃO

A presença de contaminantes emergentes nos recursos hídricos constitui um desafio ambiental, destacando-se os fármacos por sua atividade biológica e potencial persistência no ambiente (WOLLENBERGER; HALLING-SØRENSEN; KUSK, 2000). Nesse contexto, a adsorção com biomassas residuais destaca-se como alternativa simples, sustentável e de baixo custo (ISLAM; JACOB; ANTUNES, 2021). A casca de soja, resíduo agroindustrial rico em grupos funcionais, apresenta potencial como adsorvente, podendo ter sua eficiência ampliada pela funcionalização (AFROZE; SEN; ANG, 2016). Assim, este trabalho avaliou a casca de soja funcionalizada com nanopartículas de óxido de ferro (CS-Fe) na remoção de sertralina em meio aquoso.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção, preparo e síntese do material adsorvente (CS e CS-Fe) e da solução contaminante.

A casca de soja foi obtida como resíduo do bioprocesso de produção de óleo de soja da indústria Cocamar, localizada no polo industrial de Maringá (PR). A biomassa foi seca, triturada e padronizada para granulometria aproximada de 1 mm, sendo

utilizada como material in natura (CS). Posteriormente, a biomassa foi funcionalizada com nanopartículas de ferro por meio de síntese química, utilizando solução de nitrato de ferro (III) 0,1 M, conforme metodologia adaptada de Demiti et al. (2025). Nesse processo, os íons férricos foram incorporados à superfície da biomassa, promovendo a formação de nanopartículas metálicas distribuídas sobre o material, favorecendo a modificação da superfície e a criação de novos sítios ativos para o processo de adsorção, originando o material funcionalizado denominado CS-Fe. As soluções de sertralina (5–200 mg L^{-1}) foram preparadas a partir de uma solução estoque (200 mg L^{-1}) analisada por UV-Vis (HACH DR6000; 273 nm).

Ensaios adsortivos

Mantendo condições de C_0=20 mg L^{-1} e 20 mL da solução contaminante, foram estudados efeitos da massa (20–40 mg) e do pH (4–10) na adsorção sob agitação de 150 rpm à 25° C. Os dados cinéticos foram ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e Eloivich, com avaliação por R^2 e resíduos. A fim de estudar a termodinâmica da adsorção, foram construídas isotermas com temperaturas de 25, 35 e 45 °C, com concentrações de solução contaminante variando de 5–200 mg L^{-1} e ajuste aos modelos de Freundlich, Langmuir e Sips. Os ensaios em batelada foram conduzidos em agitador orbital (TECNAL TE-4200), e a concentração residual de sertralina foi determinada por espectrofotometria UV-Vis (HACH DR6000; 273 nm) após filtração das amostras (0,45 µm).

Caracterização do adsorvente

A biomassa foi caracterizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR; 400–4000 cm^{-1}) e potencial zeta (pH 2–12).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1(A–D), a CS-Fe apresentou melhor desempenho com 25 mg de adsorvente e pH 7,0, condições adotadas nos ensaios subsequentes. A cinética seguiu o modelo de pseudo-primeira ordem, atingindo equilíbrio em 120 min e capacidade adsortiva de 17,4 mg g^{-1}. As isotermas indicaram elevada afinidade pela sertralina, sendo o modelo de Sips o que melhor representou o equilíbrio, sugerindo adsorção em superfície heterogênea com tendência ao comportamento de Langmuir em altas concentrações.

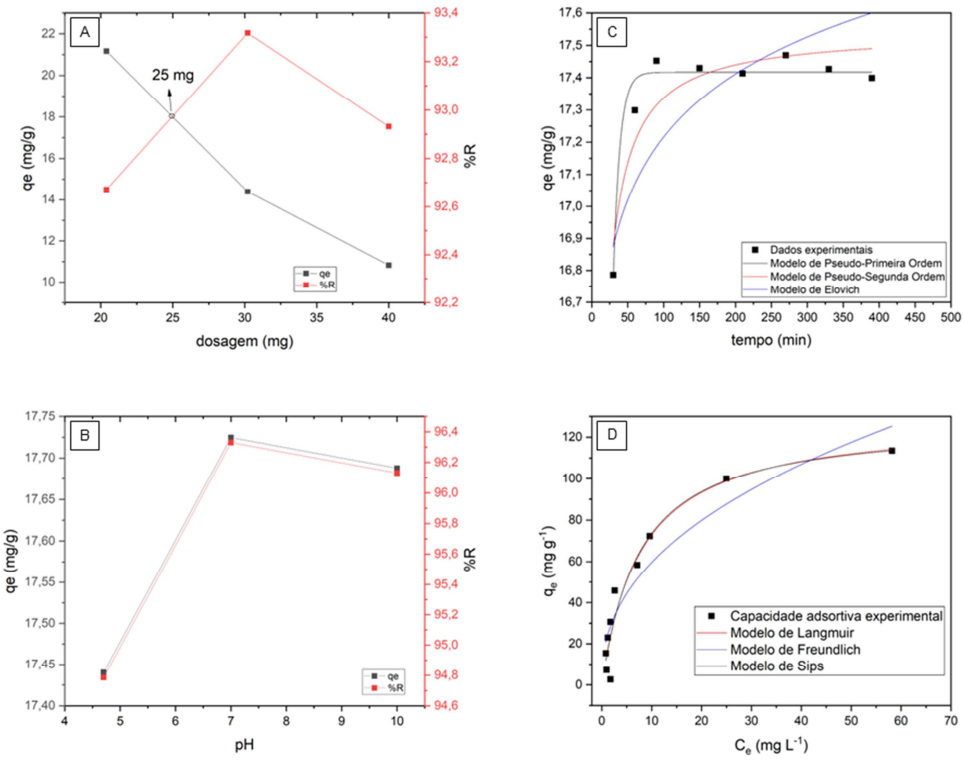


Figura 1 - Obtenção da massa (A) e pH (B) ótimos a partir de seus respectivos ensaios. Resultados dos estudos cinéticos (C) e termodinâmicos (D) conduzidos.

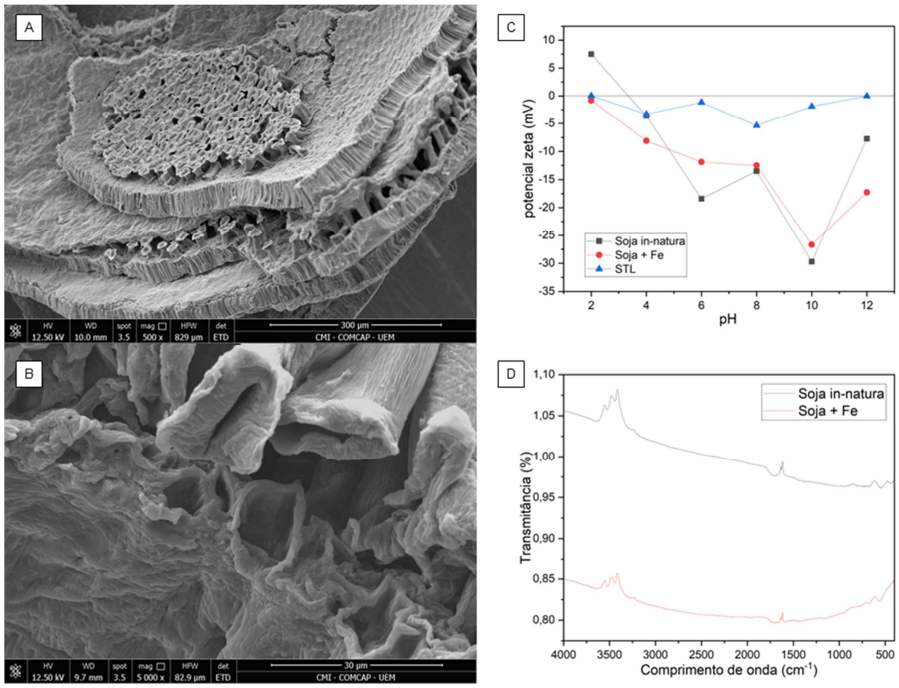


Figura 2 - Caracterização da CS *in natura*: (A) MEV a 500×; (B) MEV a 5000×; (C) potencial zeta e (D) espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

Na Figura 2 (A–B), a CS apresentou superfície rugosa, estrutura fibrosa e poros heterogêneos, características favoráveis à adsorção. O potencial zeta (C) indicou carga superficial negativa em toda a faixa de pH estudada, enquanto o FTIR (D) confirmou a presença de grupos hidroxila, carbonila e C–H, além de alterações após a modificação com ferro, evidenciando sítios ativos para o processo adsortivo.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados confirmam a eficiência da CS–Fe na remoção da sertralina em meio aquoso em sistemas de adsorção em batelada. Este fator somado ao baixo custo do material, torna a utilização da casca de soja uma alternativa viável na remoção de contaminantes emergentes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação Araucária e à Universidade Estadual de Maringá (UEM) pela oportunidade de realização da Iniciação Científica por meio do programa PIBIC e pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.
À minha orientadora, Rosângela Bergamasco, ao co-orientador, Luís Fernando Cusioli, e ao doutorando João Victor Silva Baddini, agradeço pela orientação, colaboração, auxílio e pelos ensinamentos ao longo desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

WOLLENBERGER, L.; HALLING-SØRENSEN, B.; KUSK, K. O. Acute and chronic toxicity of veterinary antibiotics to *Daphnia magna*. **Chemosphere**, v. 40, n. 7, p. 723–730, 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00443-9.

ISLAM, M. A.; JACOB, M. V.; ANTUNES, E. A critical review on silver nanoparticles: From synthesis and applications to its mitigation through low-cost adsorption by biochar. **Journal of Environmental Management**, v. 281, p. 111918, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111918.

DEMITI, G. M. M. *et al.* Removing pharmaceuticals from water with natural and modified zeolites: kinetics, thermodynamics, and competitive adsorption in a multi-drug system. **Journal of Molecular Liquids**, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.126688.

AFROZE, S.; SEN, T. K.; ANG, H. M. Adsorption removal of zinc (II) from aqueous phase by raw and base modified *Eucalyptus sheathiana* bark: kinetics, mechanism and equilibrium study. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 102, p. 336–352, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.04.009.