UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE ADSORVENTES SUSTENTÁVEIS POR HIDROCHAR PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES EMERGENTES

Artur Silva Martins (PIBIC/CNPq/UEM), Luís Fernando Cusioli. E-mail: ra143490@uem.br.
Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

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

Palavras-chave: Moringa oleífera**;** Tratamento de águas; Fármacos emergentes.

RESUMO

A contaminação hídrica pelo antidepressivo sertralina exige tecnologias eficientes de tratamento, destacando-se a adsorção por sua simplicidade e viabilidade econômica. Como alternativa sustentável, investigou-se o desempenho adsortivo do hidrochar de *Moringa oleifera* (obtido por carbonização hidrotérmica) na remoção desse fármaco em meio aquoso. O adsorvente foi caracterizado por MEV, potencial zeta, pHPCZ) e FTIR. Nos ensaios, a dosagem ótima de material foi de 28 mg, com maior eficiência de adsorção obtida em pH 7 (14,6 mg g^{-1}). A cinética atingiu o equilíbrio em 800 minutos, ajustando-se ao modelo de Elovich (R^2 = 0,89), enquanto o equilíbrio de adsorção foi descrito pelo modelo de Sips, com capacidade máxima (qmax) de 40,67 mg g^{-1}, confirmando o potencial ecológico do hidrochar.

INTRODUÇÃO

A poluição hídrica por fármacos emergentes, como a sertralina um antidepressivo persistente, representa sérios riscos ecológicos e à saúde humana, demandando métodos eficientes de remoção, já que tratamentos convencionais apresentam restrições de custo e eficiência (MUSTAFA; HASSAN, 2024; NICHOLS et al., 2023; MORIN-CRINI et al., 2022). A adsorção destaca-se como alternativa viável e de baixo custo (KARIĆ et al., 2021). Nesse âmbito, a carbonização hidrotérmica (HTC) de biomassas residuais abundantes, como a *Moringa oleifera*, insere-se na economia circular para a produção de hidrochars com elevado potencial adsortivo (JALILIAN et al., 2024). Assim, este trabalho investigou o desempenho do hidrochar de *Moringa oleifera* na remoção de sertralina em meio aquoso, contemplando sua caracterização física e química.

MATERIAIS E MÉTODOS

Síntese do hidrochar da Moringa Oleifera (hMO) e preparo de solução de contaminante

As cascas de *Moringa oleifera* (MO) foram moídas e peneiradas (600–800 µm). O hidrochar foi obtido por carbonização hidrotérmica (1:10 biomassa:água, 150 °C, 24

h), seguido de filtração, lavagem e secagem, conforme Jalilian *et al.* (2024). As soluções de sertralina foram preparadas a partir de solução estoque (200 mg L^{-1}) e analisadas por UV-Vis (HACH DR6000; 273 nm).

Caracterização dos adsorventes

As caracterizações da biomassa foram realizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV; Shimadzu SuperScan SS-550), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR; 400–4000 cm^{-1}, Thermo Fisher Scientific Inc.), potencial zeta (pH 2–12, Beckman Coulter Delsa™ Nano UI) e determinação do ponto de carga zero (pHpcz), obtido pela comparação entre os valores de pH inicial e final das soluções.

Ensaios adsortivos

Os ensaios em batelada foram realizados em agitador orbital (TECNAL TE-4200), com determinação da concentração residual de sertralina por UV-Vis (HACH DR6000; 273 nm) após filtração (0,45 µm). Foram avaliados os efeitos da massa (20–40 mg) e do pH (2–12) sobre a adsorção, mantendo-se C0=20 mg L^{-1}, 20 mL, 150 rpm e 25 °C. Os estudos cinéticos foram ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e Elovich, avaliados por R^2 e resíduos. As isotermas foram obtidas a 25, 35 e 45 °C, com concentrações de 5–200 mg L^{-1}, e ajustadas aos modelos de Langmuir, Freundlich e Sips.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As caracterizações (Figura 1) evidenciaram o potencial adsorvente da MO e do h-MO. As imagens de MEV (a–b) revelaram superfícies irregulares e porosas, favoráveis à interação com o adsorbato. Os espectros de FTIR (c) indicaram grupos funcionais característicos de materiais lignocelulósicos, com maior intensidade no h-MO após a carbonização. O potencial zeta (d) apresentou cargas predominantemente negativas em toda a faixa de pH avaliada, favorecendo a remoção de contaminantes catiônicos. Os resultados são consistentes com a literatura e corroboram o potencial desses materiais para aplicação na adsorção de contaminantes emergentes.

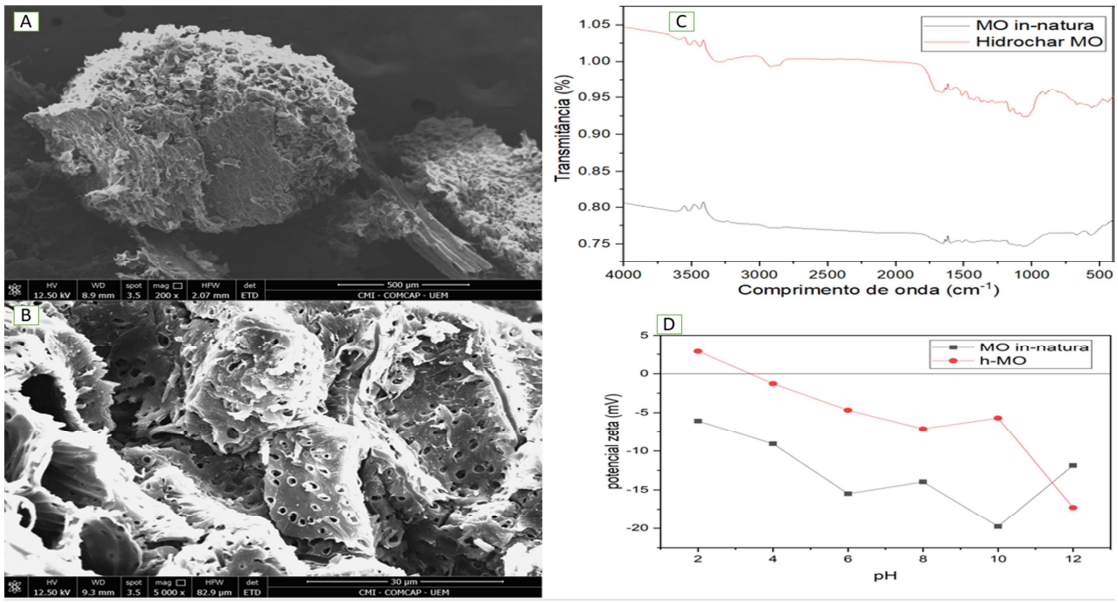


Figura 1 - Caracterização da Moringa *in natura* (MO) e do hidrochar de Moringa (h-MO): (a) MEV a 200×; (b) MEV a 5000×; (c) espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR); e (d) potencial zeta

.

Os ensaios adsortivos, apresentados na Figura 2(a) e (b), avaliaram a capacidade de remoção de STL pelo h-MO. No ensaio de massa (Figura 2a), a análise conjunta de capacidade adsortiva (qe) e da porcentagem de remoção indicou 28 mg como dosagem ótima. No ensaio de pH (Figura 2b), foram obtidos qe de 12,5 mg g^{-1} (pH 5; 76%), 14,6 mg g^{-1} (pH 7; 89%) e 13,5 mg g^{-1} (pH 10; 83%), evidenciando pH 7 como condição de maior remoção.

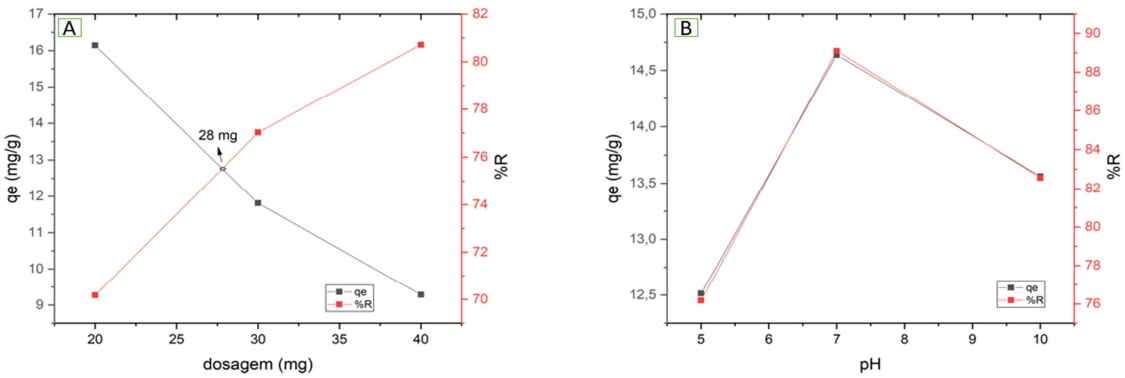


Figura 2 - Efeito da (a) massa de adsorvente e (b) pH na adsorção de sertralina (STL) pelo hidrochar de *Moringa oleifera* (h-MO).

O ensaio cinético demonstrou tempo de equilíbrio de 800 min e ajuste ao modelo de Elovich (R^2 = 0,90). A isoterma apresentou capacidade máxima de adsorção (qmax) de 40,57 mg g^{-1} a 25 °C, indicando potencial favorável da zeólita funcionalizada para a remoção de fluoxetina. O equilíbrio foi melhor descrito pelo modelo de Sips, com R^2 = 0,90, indicando boa representatividade dos dados experimentais. O ajuste ao modelo de Sips sugere uma superfície adsorvente heterogênea, com diferentes

sítios de adsorção e comportamento que pode apresentar características de Langmuir em concentrações elevadas.

CONCLUSÕES

O hidrochar de *Moringa oleifera* (h-MO) sintetizado por carbonização hidrotérmica provou ser um adsorvente sustentável e eficaz na remoção de sertralina em meio aquoso. Sua caracterização confirmou estrutura porosa e cargas superficiais predominantemente negativas. A eficiência do processo foi otimizada com o controle da dosagem do adsorvente e em pH neutro. A cinética seguiu o modelo de Elovich, e o equilíbrio adsortivo foi melhor descrito pelo modelo de Sips, revelando uma superfície heterogênea.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil, a quem agradecemos pelo suporte financeiro fundamental para a viabilização, execução e desenvolvimento desta pesquisa acadêmica.

REFERÊNCIAS

JALILIAN, M. *et al.* A review: hydrochar as potential adsorbents for wastewater treatment and CO□ adsorption. **Science of the Total Environment**, 2024, art. 169823. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169823.

KARIĆ, N. *et al.* Bio-waste valorisation: agricultural wastes as biosorbents for removal of (in)organic pollutants in wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal Advances**, v. 8, art. 100239, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ceja.2021.100239.

MORIN-CRINI, N. *et al.* Removal of emerging contaminants from wastewater using advanced treatments: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 20, p. 1333–1375, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s10311-021-01379-5.

MUSTAFA, B.; HASSAN, N. Water contamination and its effects on human health: a review. **Journal of Geography, Environment and Earth Science International**, 2024. DOI: https://doi.org/10.9734/jgeesi/2024/v28i1743.

NICHOLS, A. L. *et al.* Selective serotonin reuptake inhibitors within cells: temporal resolution in cytoplasm, endoplasmic reticulum, and membrane. **The Journal of Neuroscience**, v. 43, p. 2222–2241, 2023. DOI: https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1474-22.2023.