cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Síntese e caracterização de compósito hidroxiapatita/magnetita para adsorção de íons metálicos em solução aquosa

Juliana Pavei Pizzolo[1]; Michael Peterson[1]; Nikelli da Rosa Rabelo[1]; Ana Júlia Goulart Librelato[1]; Alexandre Gonçalves Dal-Bó[1]; Gustavo Gregorio Maccari[1]; José Luiz Westrup[2]
[1] Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma – SC, Brasil. [2] DW Consultoria & Soluções em Química Ltda., Forquilhinha – SC, Brasil.

Introdução

As atividades industriais e agrícolas contribuem para a contaminação de águas por íons metálicos potencialmente tóxicos, representando riscos ambientais e à saúde humana (Brazdis et al., 2021). Nesse contexto, a adsorção destaca-se como uma alternativa eficiente e economicamente viável para a remoção desses contaminantes (Tamjidi et al., 2019). A hidroxiapatita (HAp) apresenta capacidade de adsorção de íons metálicos, enquanto a magnetita (Fe_3O_4) facilita a recuperação do material por separação magnética. Assim, o compósito HAp/Fe_3O_4 combina essas propriedades, apresentando potencial para o tratamento de águas contaminadas (Biedrzycka et al., 2021).

Objetivos

Sintetizar o compósito hidroxiapatita/magnetita (HAp/Fe_3O_4) e avaliar o equilíbrio de adsorção multicomponente dos íons alumínio (Al^{3+}), chumbo (Pb^{2+}) e manganês (Mn^{2+}) em soluções aquosas sintéticas, por meio do ajuste dos modelos de Langmuir, Freundlich, Sips e Redlich–Peterson aos dados experimentais.

Metodologia

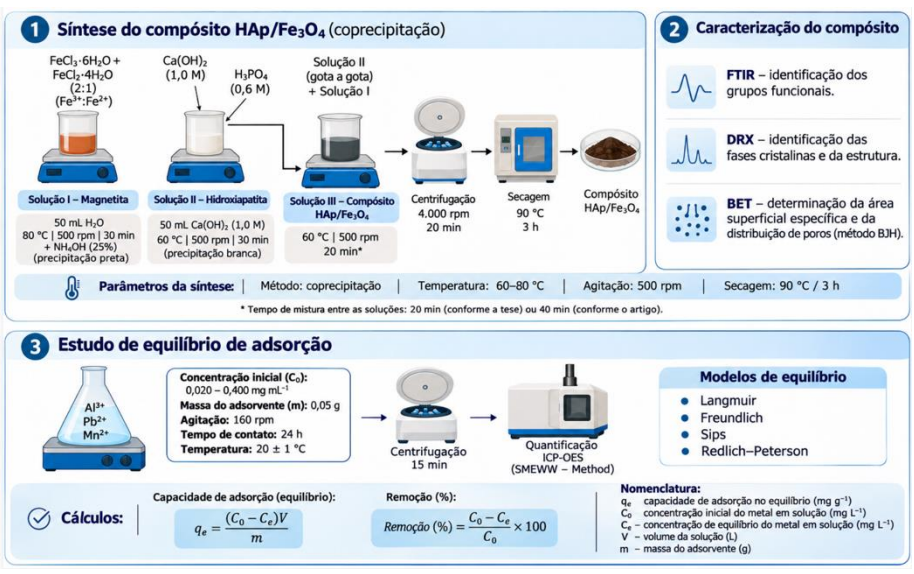


Figura 1 – Fluxograma das etapas de síntese, caracterização e estudo do equilíbrio de adsorção do compósito hidroxiapatita/magnetita (HAp/Fe_3O_4).

Resultados e Discussão

Caracterização do compósito HAp/Fe_3O_4:

FTIR: Foram identificadas bandas características de PO_4^{3-} e Fe–O, com atenuação dos sinais de Fe–O, sugerindo o recobrimento da magnetita pela hidroxiapatita (Sahoo et al., 2019; Biedrzycka et al., 2021).

DRX: Confirmou a presença das fases cristalinas de hidroxiapatita e magnetita, evidenciando a obtenção do compósito HAp/Fe_3O_4 (Dong et al., 2010; Sahoo et al., 2019).

BET: O compósito apresentou área superficial específica de 78,63 m²/g, indicando potencial para aplicação em processos de adsorção (El-Maghrabi et al., 2019; Pai et al., 2022).

Equilíbrio de adsorção

O modelo de Freundlich apresentou o melhor ajuste para Al^{3+} (R^2 = 0,920), Pb^{2+} (R^2 = 0,970) e Mn^{2+} (R^2 = 0,949), sugerindo adsorção em superfície energeticamente heterogênea. O Pb^{2+} apresentou o maior valor de KF (9,15), enquanto o modelo de Langmuir apresentou incertezas na estimativa da capacidade máxima de adsorção.

Os menores valores de χ^2 reduzido para Freundlich, de 10,66 (Al^{3+}), 12,06 (Pb^{2+}) e 0,15 (Mn^{2+}), reforçaram sua adequação aos dados experimentais. O modelo de Langmuir Estendido apresentou desvios de 4,3% (Pb^{2+}), 15,2% (Al^{3+}) e 63,9% (Mn^{2+}), evidenciando limitações na representação da competição entre os íons, especialmente para Mn^{2+}.

A adsorção pode envolver atração eletrostática, complexação superficial e troca iônica, com possível substituição de Ca^{2+} por Pb^{2+} na estrutura da hidroxiapatita (Ibrahim et al., 2020; Pooladi; Bazargan-Lari, 2020).

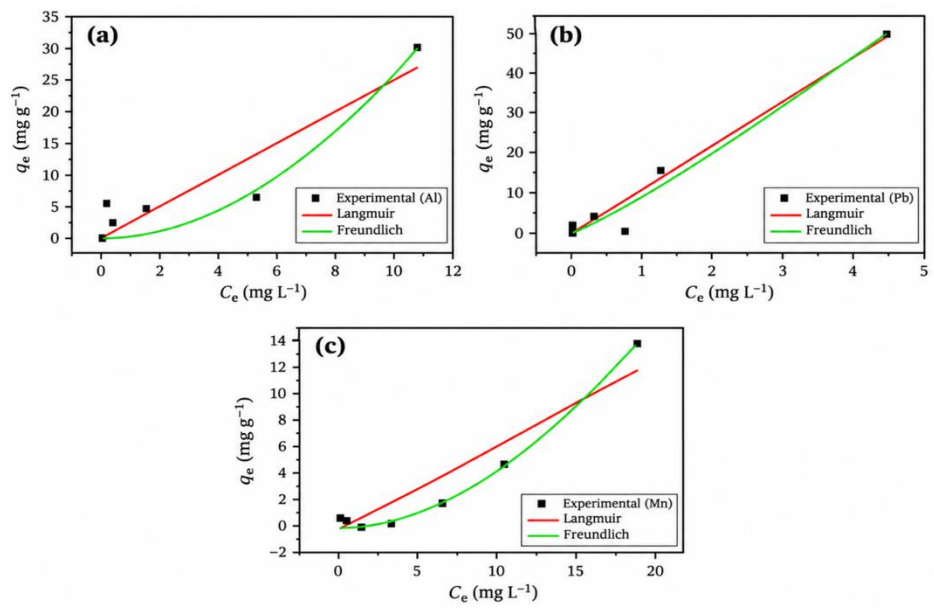


Figura 2 – Isotermas de adsorção dos íons (a) Al^{3+}, (b) Pb^{2+} e (c) Mn^{2+}, com os ajustes dos modelos de Langmuir e Freundlich.

Conclusões

O compósito HAp/Fe_3O_4 foi sintetizado com sucesso, com fases identificadas por FTIR e DRX e área superficial específica de 78,63 m²/g. O modelo de Freundlich apresentou melhor ajuste para Al^{3+}, Pb^{2+} e Mn^{2+}, indicando adsorção em superfície energeticamente heterogênea. O modelo de Langmuir Estendido apresentou limitações na representação da competição entre os íons, especialmente para Mn^{2+}. Os resultados evidenciam o potencial do compósito para a remoção multicomponente de íons metálicos em soluções aquosas.

Agradecimentos

Aos laboratórios LabRePI, LabValora e LAPPA da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), pela disponibilização dos equipamentos laboratoriais. À Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) e aos professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.

Referências

BIEDRZYCKA, A.; SKWAREK, E.; HANNA, U. M. Hydroxyapatite with magnetic core: Synthesis methods, properties, adsorption, and medical applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 291, p. 102401, 2021.
EL-MAGHRABY, A.; EL-DOUKDOUK, A. M.; EL-RETIRE, A. M.; SOLIMAN, A. A. Surfactant modified hydroxyapatite nanoparticles for the removal of uranium (VI): Preparation, characterization and adsorption performance. *Journal of Hazardous Materials*, v. 384, p. 121303, 2020.
IBRAHIM, M.; AMMAR, M.; YASIN, G.; MOSTAFA, M. A. Hydroxyapatite, a multifunctional material for air, water and soil pollution control: A review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 383, p. 121139, 2020.
KHAN, A.; KHAN, A. A.; AHMED, S.; CHOWDHURY, F. Lead (II) removal using green synthesized hydroxyapatite/magnetite nanocomposite. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, v. 14, p. 100345, 2020.
POOLADI, A.; BAZARGAN-LARI, R. Simultaneous removal of copper and zinc ions by Chitosan/hydroxyapatite/nano-Fe3O4 composite. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 154, p. 1269-1277, 2020.
SAHOO, L. E.; NAYAK, S.; MISHRA, A.; MOHAPATRA, S. Magnetic hydroxyapatite nanocomposite: Impact on rhodamine B dye removal and antibacterial activity. *Journal of Molecular Liquids*, v. 288, p. 111053, 2019.
TAMJIDI, S.; ESMAEILI, H.; MOGHADAS, B. K. Application of magnetic adsorbents for removal of heavy metals from wastewater: a review study. *Materials Research Express*, v. 6, n. 10, p. 102004, 2019.
YANG, X.; WANG, X.; LI, Y.; ZHANG, L. A review on heavy metal solution using hydroxyapatite/calcium silicate hydrate (HAP/C-S-H) composite adsorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 8, n. 4, p. 103987, 2020.