

Degradação do antibiótico sulfanilamida através de eletro-Fenton heterogêneo utilizando catalisadores à base de biomassa de cortiça impregnada com Fe_2O_3

Myllena K. P. Ferreira^{1,2*}, Jorge L. A. de Queiroz², Patricia G. C. Andrade Macilon¹, Pedro V. N. Wanderley³, Carlos A. Martinez-Huitle², José H. O. do Nascimento¹, Elisama V. dos Santos²

¹Postgraduate Program in Chemical Engineering, Center of Technology, Federal University of Rio Grande do Norte, CEP 59072-970, Natal, RN, Brazil. myllenaakely01@gmail.com.

²Renewable Energies and Environmental Sustainability Research Group, Institute of Chemistry, Federal University of Rio Grande do Norte, Campus Universitario, Av. Salgado Filho 3000, Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal, Rio Grande do Norte, Brazil.

³Postgraduate Program in Textile Engineering, Center of Technology, Federal University of Rio Grande do Norte, CEP 59072-970, Natal, RN, Brazil.

Resumo/Abstract

RESUMO – O presente trabalho estudou a aplicação de um catalisador biomassa de cortiça modificada com óxido de ferro ($\text{Fe@Fe}_2\text{O}_3/\text{CC}$ e $\text{Fe@Fe}_2\text{O}_3/\text{CE}$) para degradação do antibiótico sulfanilamida (SNM) através do processo eletro-Fenton heterogêneo. Os catalisadores foram caracterizados por MEV-FEG e finalmente aplicado para degradação da sulfanilamida em Na_2SO_4 0,05 mol L^{-1} como eletrólito de suporte, Carbono-PTFE com difusão de ar e Ti/Pt foram utilizados como cátodo e ânodo, respectivamente. A remoção do composto foi acompanhada por HPLC ao longo de 240 min, sendo alcançada a degradação completa da SNM em pH neutro quando foram empregados o $\text{Fe@Fe}_2\text{O}_3/\text{CC}$ e $\text{Fe@Fe}_2\text{O}_3/\text{CE}$.

Palavras-chave: Biomassa, cortiça, catalisador, eletro-fenton heterogêneo.

ABSTRACT - The present work studied the application of a cork biomass catalyst modified with iron oxide ($\text{Fe@Fe}_2\text{O}_3/\text{CC}$ and $\text{Fe@Fe}_2\text{O}_3/\text{CE}$) for the degradation of the antibiotic sulfanilamide (SNM) through the heterogeneous electro-Fenton (HEF) process. The catalysts were characterized by SEM-FEG and finally applied for the degradation of sulfanilamide in Na_2SO_4 0.05 mol L^{-1} as supporting electrolyte and used Carbon-PTFE with air diffusion and Ti/Pt were used as cathode and anode, respectively. The removal of the compound was monitored by HPLC over 240 minutes, and complete degradation of SNM was achieved at neutral pH when $\text{Fe@Fe}_2\text{O}_3/\text{CC}$ and $\text{Fe@Fe}_2\text{O}_3/\text{CE}$ were used.

Keywords: Biomass, cork, catalyst, heterogeneous electro-Fenton.

Introdução

Entre os antibióticos sintéticos disponíveis, a sulfanilamida (SNM) pertence ao grupo das sulfonamidas, uma classe amplamente utilizada na medicina, na pecuária e na aquicultura. Seu uso frequente leva ao acúmulo no solo e na água, causando impactos negativos para os seres humanos, microorganismos, algas e certas plantas (1,2).

Para o tratamento de compostos orgânicos, os processos eletroquímicos oxidativos avançados (EAOPs) surgem como técnicas inovadoras e promissoras. Dentre eles, o eletro-Fenton (EF) é amplamente utilizado devido as suas vantagens, como alta eficiência, versatilidade e compatibilidade ambiental. A reação de Fenton se baseia na geração de $\bullet\text{OH}$ pela reação entre H_2O_2 e Fe^{2+} . No caso do EF, o H_2O_2 é gerado continuamente pela injeção de O_2 (1, 4). No entanto, o processo EF convencional possui diversas limitações, principalmente a necessidade de operar em uma faixa restrita de pH para alcançar melhores resultados. Já no processo EF heterogêneo, o uso de catalisadores sólidos aumenta a eficiência da degradação de poluentes e oferece

vantagens adicionais (1). Portanto, neste estudo, investigamos o uso de catalisadores à base de cortiça modificada com ferro, para a degradação de SNM como poluente modelo por meio de um processo eletro-Fenton heterogêneo.

Experimental

A impregnação de $\text{Fe@Fe}_2\text{O}_3$ em cortiça clara (CC) e escura (CE) seguiu o método de Li e colaboradores (2). Cada material foi sintetizado dissolvendo-se 0,3 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ em 100 mL de água com ultrassom por 30 min, adicionando 10 mg do material. Uma solução de 0,6 g de NaBH_4 em 40 mL de água destilada foi então adicionada lentamente para reduzir os íons férricos. Os catalisadores foram lavados com água destilada e secos (2, 5).

Os experimentos foram realizados em um reator de 300 mL, sem divisão. A degradação via EF heterogêneo foi conduzida por 240 min em pH neutro, com densidade de corrente de 60 mA cm^{-2} , usando Carbono-PTFE como cátodo e Ti/Pt como ânodo.

Resultados e Discussão

A Figura 1 exibe imagens da cortiça clara e escura, antes e depois da modificação baseados nos resultados obtidos por MEV-FEG. Na Figura 1a é observado grãos com alguns poros em sua superfície. Após a modificação (Figuras 1B e C, nota-se a presença de aglomerados irregulares de partículas de ferro, resultando no aparecimento de numerosos poros e aumentando a heterogeneidade do material. A cortiça escura sem modificação (Figuras 1c), apresenta um arranjo estrutural em forma de favos com espaços vazios em sua superfície e, após a modificação (Figuras 1e e f), possivelmente ocorreram depósitos de partículas de ferro dentro dessa estrutura, apresentando uma desigualdade entre os grânulos. Observações semelhantes foram relatadas por Vale-Junior e colaboradores (5).

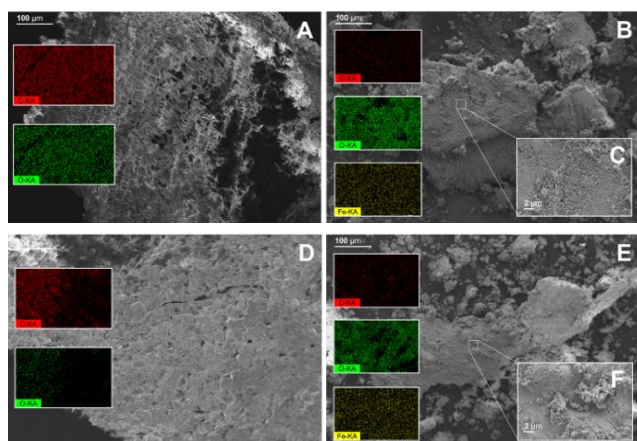


Figura 1. Imagens de MEV-FEG da (A) CC, (B) e (C) Fe@Fe₂O₃/CC, (D) CE, (E) e (F) Fe@Fe₂O₃/CE.

Para verificar a aplicabilidade dos catalisadores no EF heterogêneo, utilizou uma concentração de 100 mg L⁻¹ material. Com base nos resultados apresentados na Figura 2, fica evidente que a SNM foi efetivamente degradada na presença dos catalisadores. Em que, a EO/H₂O₂ alcançou apenas 46,7% de remoção.

Figura 2. Oxidação de 0,5 mmol L⁻¹ SNM usando 100 mg L⁻¹ dos catalisadores, em que, (▲) EO/H₂O₂, (■) Fe@Fe₂O₃/CE e (●) Fe@Fe₂O₃/CC.

O ferro presente na superfície do das cortiças contribui para a geração de •OH na superfície dos catalisadores. A molécula de sulfanilamida consiste em um derivado de anilina com um grupo sulfonamida. Devido à sua estrutura química, ocorre a geração de ácidos carboxílicos e íons de nitrogênio inorgânico durante o processo de oxidação eletroquímica.

Conclusões

Os resultados obtidos demonstram o potencial de aplicação dos catalisadores desenvolvido em reações eletro-Fenton heterogêneo, uma vez que se conseguiu uma taxa de remoção (100,0%) para o Fe@Fe₂O₃/CC e Fe@Fe₂O₃/CE superior à degradação do EO/H₂O₂ (46,0%). Experimentos em andamento visam otimizar o catalisador, bem como avaliar a eficiência da reutilização do material em vários ciclos de tratamento eletroquímico.

Agradecimentos

Financial supports from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Brazil) (408110/2022-8, 402674/2024-3)

Referências

1. I. Ahmad; D. Basu; P.S. *Iranian Journal of Science and Technology, Trans. of Civil Eng.* **2025**, 1-24.
2. J. Li; Z. Ai; L. Zhang. *J Hazard Mater*, **164**, **2009**, 18-25.
3. Y. L. Lye; C. W. Bong; C. W. Lee; R. J. Zhang; G. Zhang; S. Suzuki; L. C. Chai; *Science of the Total Environment*. **2019**, 688, 1335-1347.
4. S. Tian; C. Zhang; D. Huang; R. Wang; G. Zeng; M. Yan; W. Xiong; C. Zhou; M. Cheng; W. Xue; Y. Yang; W. Wang. *Chemical Engineering Journal*. **2020**, 389, 123423.
5. E. Vale-Junior; R. A. Sousa; R. A. Antunes; J. H. O. Nascimento; J. E. L. Santos; C. A. Martínez-Huitle; E. V. Santos. *Chemosphere*. **2023**, 336, 139209.

