

APLICAÇÃO DA ELETROCOAGULAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Cícero W. B. Bezerra¹, Francisco Fernandes S. Cruz^{1*}

1 - Universidade Federal do Maranhão

* bacanaceab@gmail.com

Palavras-Chave: corantes, eletrodos de alumínio, energia renovável.

Introdução

A indústria têxtil é reconhecida como uma das maiores fontes de poluição ambiental. Além de despejar nos corpos hídricos uma quantidade alarmante de efluentes contaminados, os materiais tingidos continuam a liberar corantes têxteis ao longo das suas subsequentes lavagens (AKPOVETA, 2020; JOÃO et al., 2017; MALLESH, 2018). Ademais, a diversidade de corantes e de outras substâncias químicas empregadas durante a etapa de tingimento de tecidos torna o tratamento desses efluentes ainda mais desafiador. Esses corantes, além da natural toxicidade, que os torna extremamente prejudiciais aos seres vivos, apresentam elevada absorvidade molar na região do visível, interferindo drasticamente no processo fotossintético aquático e alterando a disponibilidade de oxigênio no meio. Outro aspecto ainda pouco explorado, é que tais compostos afetam a população de microorganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica presente na água, levando a uma menor taxa de decomposição da matéria orgânica e à acumulação de sedimentos no fundo dos corpos hídricos. (JOÃO et al., 2017; KHOSRAVI et al., 2017; MALLESH, 2018).

Diversos processos têm sido propostos para o tratamento desses efluentes, com o duplo de objetivo de adequá-los ao reuso da água no processo industrial, bem como aos padrões estabelecidos por legislações ambientais específicas para o caso de lançamento em corpos hídricos receptores. Dentre estas técnicas, merecem menção: adsorção, reatores biológicos, processos oxidativos avançados e coagulação por ação de aditivos químicos (sais de alumínio, por exemplo). (CARINA MENON et al., 2020; ABIDI et al., 2015; SANTOS et al., 2007).

Nesse contexto, a tecnologia da eletrocoagulação (EC) se destaca como uma opção promissora para o tratamento dessa classe de efluente. Baseada em processos eletroquímicos, a EC utiliza a dissolução anódica para gerar, de forma controlada, coagulantes *in situ*, apresentando-se como uma técnica de baixo custo, eficiente, eficaz e confiável para a remoção de contaminantes em águas residuais, sem a necessidade de adição de outros agentes químicos (JOÃO et al., 2017; KHOSRAVI et al., 2017; MALLESH, 2018).

Apesar das suas inúmeras vantagens, a aplicação em larga escala da EC enfrenta alguns desafios, especialmente no que diz respeito à concepção de reatores que explorem o potencial da técnica de forma economicamente viável, tendo em vista o consumo energético exigido pelo processo (LIU et al., 2022; MIRZA et al., 2020; OTHMANI et al., 2022). Uma estratégia para mitigar os custos associados ao consumo de energia, já que eletrodos de Al ou Fe são, atualmente de baixo custo, é o acoplamento dos reatores a fontes de energia renovável, como painéis fotovoltaicos, por exemplo. (ALJABERI et al., 2022; INGELSSON; YASRI; ROBERTS, 2020; MAITLO et al., 2019) De fato, os avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos na área de energia solar têm tornado os painéis solares uma fonte cada vez mais atrativa de energia elétrica acessível e sustentável. Melhorias significativas na eficiência de

conversão, redução de custos de produção e desenvolvimento de novos materiais têm impulsionado a adoção em larga escala desta modalidade de energia (ALJABERI et al., 2022; INGELSSON; YASRI; ROBERTS, 2020; LIU et al., 2019). Além disso, a versatilidade da tecnologia possibilita o acoplamento das placas solares com diversos sistemas, podendo igualmente serem empregados como fonte de alimentação para células de EC. A integração de fontes renováveis de energia, como a solar, com tecnologias de tratamento de águas residuais, como a eletrocoagulação, não apenas promove a sustentabilidade ambiental, mas também oferece uma solução economicamente viável para enfrentar os desafios crescentes relacionados à poluição industrial e à escassez de recursos energéticos.

O presente estudo propôs-se a aplicação da eletrocoagulação para a remoção de corantes têxteis de águas residuais, empregando um reator eletroquímico construído com materiais de baixo custo e alimentado por um painel de energia fotovoltaica.

Com o objetivo de ampliar o escopo deste estudo, a célula eletroquímica foi concebida de forma versátil e adaptável. Embora ela possa ser construída de acrílico e projetada de diversas maneiras e volumes, possibilitando arranjos diferentes de eletrodos, seções para escoamento do efluente tratado e para coleta do lodo produzido, a célula foi adaptada a partir de recipiente de plástico, caseiro, de modo que pudesse ser empregada como atividade prática para aulas e feiras de ciência. A promoção de uma consciência ambiental mais ampla, condizente com as demandas da educação contemporânea, bem como a ilustração dos princípios científicos a partir de materiais do cotidiano, estiveram presentes ao longo de toda realização deste trabalho, visando contribuir para avanços na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, mas também para a disseminação de uma mentalidade científica acessível e inclusiva, essencial para a formação de uma sociedade mais informada e engajada.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos de duas formas: inicialmente em condições controladas de laboratório, empregando água destilada, controle de pH, eletrodos de alumínio (99,8%; 3,0 mm de espessura, 30 cm de comprimento, 15 cm de largura), reator eletrolítico de acrílico, fonte Hikari (HF-3203S), e reagentes de grau analítico (NaCl, ISOFAR; Rodamina B, ISOFAR), bem como simulando condições menos rigorosas e mais próximas das condições de salas de aula e de laboratórios didáticos, empregando para isso água de torneira, sal de cozinha, corante vermelho N° 15 Tupy (Tintol), adquirido em comércio local, uma célula eletrolítica de plástico, adaptada com uma torneira para remoção do efluente tratado) e uma placa solar comercial (Kit painel solar flexível portátil 300w 12/24 V (Switch). Apenas estes últimos resultados serão apresentados.

Nos experimentos didáticos, foram empregados 3 pares de eletrodos de alumínio obtidos a partir de sucatas, nas dimensões aproximadas de 10 x 5 cm.

O efluente sintético foi preparado da seguinte forma: uma solução de corante tintou na concentração de 1,5 g/L, em meio aquoso contendo NaCl a 1 g/L.

O sistema foi conectado a uma fonte de alimentação (Figura 1), a qual foi alimentada diretamente pelo painel solar. Empregou-se uma ddp de 12 V e um tempo de tratamento por volta de 15 minutos, após o qual alíquotas eram retiradas e comparadas, visualmente, com uma amostra do efluente sintético, antes do tratamento.

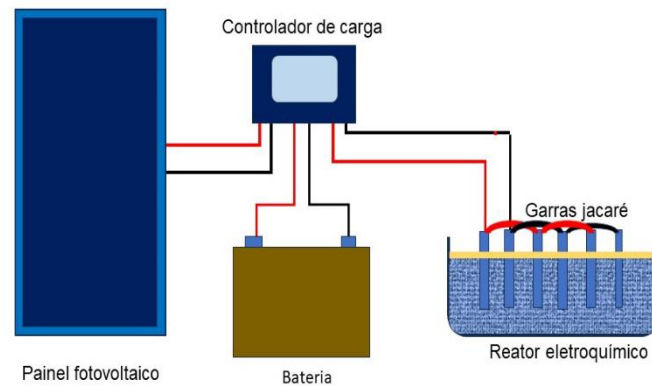


Figura 1: Esquema ilustrativo do reator eletroquímico com 03 pares de eletrodos de alumínio acoplados à placa de energia fotovoltaica.

Resultados e Discussão

Construção da cuba eletrolítica e conexão com a placa solar

Para construir a cuba eletrolítica, foram realizadas pequenas adaptações em um recipiente retangular de plástico, garantindo que atendessem aos critérios de volume necessários para o tratamento. Na lateral inferior do recipiente, uma incisão foi feita para a instalação de uma pequena torneira, proporcionando facilidade na coleta da água tratada. Além disso, foram feitos cortes estratégicos a uma distância específica de 1 cm para o encaixe dos eletrodos de alumínio, conforme demonstrado na Figura 1.

Os eletrodos foram conectados à placa solar, seguindo as ilustrações apresentadas na Figura 1. Vale ressaltar que diferentes arranjos de eletrodos e designs de células são possíveis, e podem influenciar diretamente na eficiência do tratamento realizado.

Eletrocoagulação: Entendendo o Processo

Segundo a literatura, o processo de eletrocoagulação compreende três fases distintas, são elas: a formação do agente coagulante, que ocorre pela dissolução eletrolítica do eletrodo de sacrifício, no caso, alumínio; desestabilização dos contaminantes, o qual inclui a quebra de emulsão e a desestabilização das partículas em suspensão, e a formação de flocos, aglomerados das moléculas desestabilizadas e que podem se depositar no fundo do reator eletroquímico por sedimentação ou, como é o caso, flutuar na superfície, dependendo, principalmente, da quantidade de gases gerados nos eletrodos.

Para o caso em estudo, durante o processo de tratamento, foi possível observar a pronta formação de uma camada mais espessa de material, que se depositou na superfície da solução em eletrólise. De acordo com estudos anteriores (INGELSSON; YASRI; ROBERTS, 2020), essa camada é composta por moléculas de corante envolvidas por um material gelatinoso, gerado pela combinação dos íons provenientes da dissolução anódica com as hidroxilas presentes no meio, resultantes da eletrólise da água.

Após um curto período de funcionamento, e à medida que a camada coloidal se formava na superfície do líquido, ficou evidente a eficácia da técnica pela remoção significativa da cor do efluente sintético preparado. Em apenas 15 min de experimento, como apresentado na figura 2, é possível observar visualmente a qualidade do tratamento realizado.

Para garantir a confiabilidade dos resultados, o experimento foi repetido cinco vezes, obtendo-se resultados consistentes em todas as repetições.

Esses resultados demonstram o potencial da eletrocoagulação como uma técnica eficaz para o tratamento de água, oferecendo uma solução prática e de baixo custo para a remoção de impurezas e a melhoria da qualidade da água em diversas aplicações.



Figura 2: Comparação entre amostras do efluente sintético (solução 1,5 g/L corante vermelho Nº 15 Tupy, em meio aquoso contendo NaCl a 1 g/L) antes e depois do tratamento. Tempo de 15 min.

Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam a eficácia da técnica de eletrocoagulação como um método eficiente para o tratamento de água e efluentes, oferecendo uma abordagem prática e acessível para a remoção de impurezas e a melhoria da qualidade da água.

O acoplamento com o painel fotovoltaico representa uma alternativa promissora para a adoção de energia renovável nos processos de tratamento de efluentes industriais ou de águas de abastecimento para regiões remotas. Além de sua aplicação em escala industrial, os experimentos realizados mostram que a eletrocoagulação pode ser facilmente adaptada para ser utilizada em contextos educacionais, como experimentos didáticos em sala de aula e em feiras de ciências. Essa abordagem não apenas ilustra conceitos científicos fundamentais, mas também destaca temas ambientais relevantes e promove a conscientização sobre o uso de energias alternativas para soluções práticas e sustentáveis.

Agradecimentos

À Fapema, pelo suporte financeiro ao Grupo de Pesquisa, ao Doutorado associado UFMA-IFMA (DQUIM) e ao Centro Educamais Aparício Bandeira.

Referências

Abidi, N. et al. Treatment of dye-containing effluent by natural clay. *Journal of Cleaner Production*, v. 86, p. 432–440, 2015.

Akpoveta, V. O. Process optimization of silica encapsulation technique as a unique remediation technology for the treatment of crude oil contaminated soil. ***Egyptian Journal of Petroleum***, v. 29, n. 2, p. 113–119, 2020.

Aljaberi, F. Y. Studies of autocatalytic electrocoagulation reactor for lead removal from simulated wastewater. ***Journal of Environmental Chemical Engineering***, v. 6, n. 5, p. 6069–6078, 2018.

Carina Menon, B. et al. Avaliação do processo de eletrocoagulação no tratamento de efluentes têxteis. *Revista DAE*, v. 222, n. 68, p. 141–152, 2020.

Ingelsson, M.; Yasri, N.; Roberts, E. P. L. Electrode passivation, faradaic efficiency, and performance enhancement strategies in electrocoagulation—a review. ***Water Research***, v. 187, p. 116433, 2020.

João, J. et al. Processo De Eletrocoagulação-Flotação: Investigação Dos Parâmetros Operacionais Para O Tratamento De Águas Residuais Da Indústria De Pescados. *Química Nova*, v. 41, n. 2, p. 163–168, 2017.

Khosravi, R. et al. Electrochemical decolorization of reactive dye from synthetic wastewater by mono-polar aluminum electrodes system. ***International Journal of Electrochemical Science***, v. 12, n. 6, p. 4745–4755, 2017.

Kobyas, M.; Gengec, E.; Demirbas, E. Operating parameters and costs assessments of a real dyehouse wastewater effluent treated by a continuous electrocoagulation process. ***Chemical Engineering and Processing - Process Intensification***, v. 101, p. 87–100, 2016.

Liu, Y. H. et al. Electroprecipitation Mechanism Enabling Silica and Hardness Removal through Aluminum-Based Electrocoagulation. ***ACS ES and T Engineering***, v. 2, n. 7, p. 1200–1210, 2022.

Maitlo, H. A. et al. Metal-air fuel cell electrocoagulation techniques for the treatment of arsenic in water. ***Journal of Cleaner Production***, v. 207, p. 67–84, 2019.

Mallesh, B. A Review of Electrocoagulation Process for Wastewater Treatment. *International Journal of ChemTech Research*, n. April, 2018.

Mirza, N. R. et al. A review of the textile wastewater treatment technologies with special focus on advanced oxidation processes (Aops), membrane separation and integrated aop-membrane processes. ***Desalination and Water Treatment***, v. 206, p. 83–107, 2020.

Othmani, A. et al. A comprehensive review on green perspectives of electrocoagulation integrated with advanced processes for effective pollutants removal from water environment. ***Environmental Research***, v. 215, n. August, 2022

Santos, A. et al. Decolorization of textile dyes by wet oxidation using activated carbon as catalyst. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, v. 46, n. 8, p. 2423–2427, 2007.



4º Encontro Nacional de Química e Sustentabilidade
5 a 7 de junho de 2024
Teresina - PI