

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA E DESEMPENHO ELETROQUÍMICO EM REATOR DE CUBOS CONCÊNTRICOS PARA ELETROGERAÇÃO *IN SITU* DE H₂O₂

Andre Luis Carvalho Souza

Raul José Alves Felisardo, Robson da Silva Souto

Marcos Roberto de Vasconcelos Lanza

Instituto de Química de São Carlos / Universidade de São Paulo

andreluis49@usp.br

Objetivos

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar um reator de cubos concêntricos em fluxo contínuo para otimizar a eletrogeração *in situ* de H₂O₂, utilizando eletrodos de difusão gasosa (EDG) para a redução de O₂. A análise hidrodinâmica do reator foi realizada por meio de testes de Distribuição do Tempo de Residência (DTR), com o intuito de compreender o comportamento do fluxo e as zonas de mistura internas. Além disso, a eficiência da eletrogeração de H₂O₂ foi avaliada em correlação com os dados da DTR, identificando os fatores que influenciam diretamente a performance eletroquímica. Os resultados experimentais foram comparados com modelos hidrodinâmicos.

Métodos e Procedimentos

O reator eletroquímico utilizado era de cubos concêntricos desenvolvido em acrílico com capacidade volumétrica de 0,192 L. Os ânodos instalados internamente eram ânodos dimensionalmente estáveis (DSA) da De Nora® enquanto que o cátodo era EDG (área = 96 cm²), desenvolvido conforme método padrão do grupo de pesquisa [1]. Resumidamente, o EDG foi confeccionado a partir de carbono amorfo (Printex L6) e politetrafluoroetileno (PTFE) a 60%, e sinterizado a 290°C sob

pressão de 0,5 toneladas. O estudo de DTR foi conduzido sob a técnica de pulso traçador com KCl a 3 M [2]. Nesta metodologia o traçador foi injetado diretamente na entrada do reator, em diferentes vazões volumétricas (200, 400 e 600 mL min⁻¹), e sua concentração de saída foi monitorada através da condutividade. A função E_t foi calculada para obter o tempo de residência médio (t_m), a variância (σ²) e a assimetria (S³). Para a eletrogeração de H₂O₂, utilizou-se K₂SO₄ a 0,05 M como eletrólito suporte, e uma corrente constante 2 A foi aplicada. O fluxo de O₂ injetado do EDG foi fixado em 100 mLmin⁻¹. A concentração de H₂O₂ foi quantificada por espectrofotometria UV-Vis a 350nm, usando o complexo de cor formado ao contato com molibdato de amônio.

Resultados

Os resultados dos testes hidrodinâmicos mostraram que o comportamento do reator variou significativamente em função da vazão volumétrica de entrada. Observou-se que, quanto menor a vazão, maior foi a dispersão do traçador no interior do reator. Esse comportamento pode ser atribuído ao aumento do tempo de residência do fluido, o que favorece uma maior interação com as superfícies internas e a formação de zonas mortas ou regiões de estagnação. Esse aumento na dispersão sugere a presença de correntes secundárias ou áreas de

recirculação. A Figura 1 mostra o perfil de E_t obtido em função do tempo para as vazões volumétricas estudadas. Nestas análises, o tempo de residência para a vazão de 200 mLmin⁻¹ foi de 2,30 minutos, a variância ($\sigma^2 = 3,47$) e a assimetria ($S^3 = 4,96$). A diferença observada em relação ao tempo de residência teórico ($t_m = 1$ min), potencializa a hipótese de existência de zonas mortas no interior do reator nesta vazão. Por outro lado, ao aumentar a vazão para 400 mLmin⁻¹, o perfil E_t mostra picos mais definidos e o tempo de residência obtido diminuiu para 0,87 minutos, aproximando-se mais do valor teórico. Essas observações indicam uma dinâmica mais direcionada quando se aumenta o fluxo volumétrico.

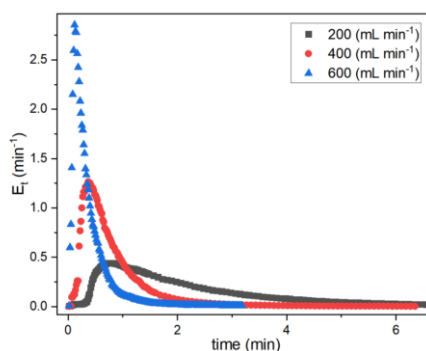


Figura 1: Perfis E_t obtida com o estudo da distribuição do tempo de residência em um reator eletroquímico de cubos concêntricos.

A análise comparativa com modelos teóricos mostrou que o perfil do fluxo do reator se aproximou do modelo de reator de tanque agitado contínuo (CSTR) acoplado a um reator de fluxo em pistão (PFR). Contudo, na vazão de 600 mLmin⁻¹, o reator exibiu um comportamento mais próximo de reatores de fluxo laminar (LFR), com menor dispersão ($\sigma^2 = 0,16$) e $t_m = 0,39$ minutos.

Em relação à eletrogeração de H_2O_2 , os testes mostraram que quanto maior o tempo de residência, maior a concentração acumulada. Isso é evidente na Figura 2 na qual mostra que a 200 mLmin⁻¹ o acúmulo de H_2O_2 chega acima de 100 mgL⁻¹ em 170s. Esse comportamento pode ser devido ao fato de que o tempo de residência mais prolongado permite uma maior interação entre o oxigênio dissolvido e o EDG.

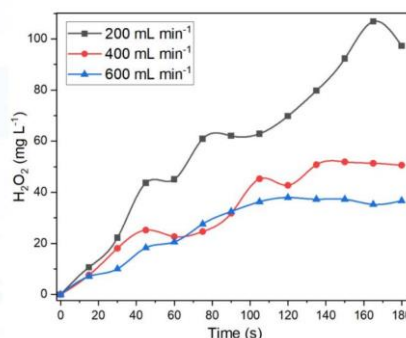


Figura 3: Eletrogeração de H_2O_2 em função do tempo de eletrólise, sob diferentes vazões em um reator eletroquímico de cubos concêntricos. Condições: $I = 2A$, $T = 20C$.

Conclusões

Os testes mostraram que a vazão volumétrica de entrada afeta significativamente o comportamento do reator de cubos concêntricos. Vazões menores aumentam a dispersão do traçador devido a zonas mortas e correntes secundárias, enquanto vazões maiores proporcionam uma dinâmica de fluxo mais direcionada e tempos de residência próximos aos teóricos. A eletrogeração de H_2O_2 é mais eficiente com tempos de residência mais longos, permitindo maior interação entre o oxigênio dissolvido e os eletrodos, resultando em maiores concentrações acumuladas de H_2O_2 . Esses resultados indicam que otimizar a vazão e o tempo de residência pode melhorar a eficiência da produção de H_2O_2 em processos eletroquímicos.

Agradecimentos

FAPESP (2023/16462-5, #2023/13260-2 #2022/12895-1) e CNPq.

Referências

- [1] Sánchez-Montes, I. Santos, G.O.S., Santos, T., Colombo, R., Lanza, M.R.V. J. Clean. Prod., 392 (2023) 136242.
- [2] Souto, R.S., Souza, L.P., Cordeiro Junior, P.J.M., Ramos, B., Teixeira, A.C.S.C., Rocha, R.S., Lanza, M.R. V, 62, Ind. Eng. Chem. Res. (2023).