

## **ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA E DESEMPENHO ELETROQUÍMICO EM REATOR DE CUBOS CONCÊNTRICOS PARA ELETROGERAÇÃO *IN SITU* DE H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

**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](mailto: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 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, utilizando eletrodos de difusão gasosa (EDG) para a redução de O<sub>2</sub>. 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 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 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 cm<sup>2</sup>), desenvolvido conforme método padrão do grupo de pesquisa [1]. Resumidamente, o EDG foi confeccionado a partir de carbono amorf (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<sup>-1</sup>), e sua concentração de saída foi monitorada através da condutividade. A função E<sub>t</sub> foi calculada para obter o tempo de residência médio (tm), a variância ( $\sigma^2$ ) e a assimetria (S<sup>3</sup>). Para a eletrogeração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, utilizou-se K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,05 M como eletrólito suporte, e uma corrente constante 2 A foi aplicada. O fluxo de O<sub>2</sub> injetado do EDG foi fixado em 100 mLmin<sup>-1</sup>. A concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 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  $200 \text{ mL min}^{-1}$  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 ( $t_m = 1 \text{ min}$ ), potencializa a hipótese de existência de zonas mortas no interior do reator nesta vazão. Por outro lado, ao aumentar a vazão para  $400 \text{ mL min}^{-1}$ , 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.

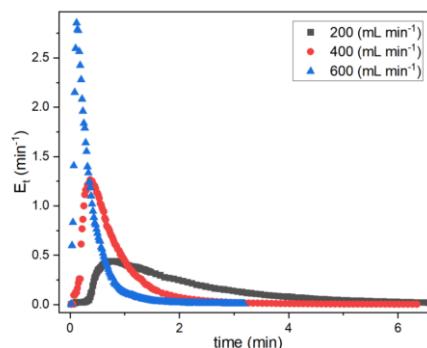


Figura 1: Perfis  $E_t$  obtida com o estudo da distribuição do tempo de residência em um reator eletroquímico de cubos concêntricos.

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  $600 \text{ mL min}^{-1}$ , 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  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 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  $200 \text{ mL min}^{-1}$  o acúmulo de  $\text{H}_2\text{O}_2$  chega acima de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  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.

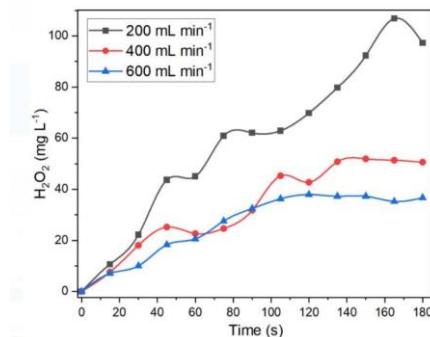


Figura 2: Eletrogeração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  em função do tempo de eletrólise, sob diferentes vazões em um reator eletroquímico de cubos concêntricos. Condições:  $I = 2 \text{ A}$ ,  $T = 20^\circ\text{C}$ .

## 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  $\text{H}_2\text{O}_2$  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  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Esses resultados indicam que otimizar a vazão e o tempo de residência pode melhorar a eficiência da produção de  $\text{H}_2\text{O}_2$  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).