

## CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DE UM REATOR DE MICROCANAIS PARA PRODUÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO POR SÍNTESE DIRETA

Lorena Cadan (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Isabella Barros Souza, Daiane Marques de Oliveira (Coorientadora), Marcos de Souza (Orientador), e-mail: lorenacadan@gmail.com

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia/Maringá, PR.

**Área: Engenharia Química; Subárea: Operações Industriais e Equipamentos para Engenharia Química**

**Palavras-chave:** microrreator, síntese direta, peróxido de hidrogênio.

### Resumo:

Existem diversas aplicações para o peróxido de hidrogênio, o qual é produzido, atualmente, por um processo que utiliza de uma substância tóxica, a antraquinona. Uma das possibilidades de sua produção que não faz uso desse composto é a síntese direta; por sua vez, pode ser explosiva pela reação dos gases hidrogênio e oxigênio. Um modo de se evitar a explosão é conduzir a síntese direta do peróxido de hidrogênio em microrreatores. Assim, este trabalho visa a produção do catalisador Cu/ZSM-5 para a produção de peróxido de hidrogênio por síntese direta, bem como o dimensionamento e a construção do protótipo do microrreator.

### Introdução

O peróxido de hidrogênio tem várias aplicações e atualmente é produzido pelo processo de auto-oxidação da antraquinona, substância tóxica. Um método alternativo de produção de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> é a síntese direta, descrita pela Reação 1 (INOUE *et al.*, 2015). Contudo, a mistura dos gases H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> é altamente explosiva, além de que são necessárias altas pressões para promover a transferência de massa da fase gasosa para a líquida (INOUE; SCHMIDT; JENSEN, 2007).



Uma alternativa viável para a produção em pequena escala e quantidade demandada de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> é a realização da síntese direta em reatores de microcanais, estes com dimensões de ordem de dezenas a centenas de micrômetros de largura por poucos centímetros de comprimento. Esses microrreatores permitem um controle mais preciso das condições operacionais, visto que têm alta área superficial específica, além de maior segurança e portabilidade (BELUCI; DE SOUZA; DE MORAES, 2016).

A atividade catalítica tem sido introduzida nos reatores de microcanais com metais nobres, como a platina, suportados em zeólitas, já que elas têm

capacidade de desenvolver filmes em uma variedade de superfícies. Ademais, as zeólitas facilitam uma distribuição homogênea dos sítios ativos do metal por terem estrutura microporosa e capacidade de troca iônica (DE LA IGLESIA *et al.*, 2007).

O objetivo deste trabalho foi definir o material para a construção do microrreator, projetar os microcanais e confeccionar o catalisador Cu/ZSM-5 para a produção de peróxido de hidrogênio por síntese direta.

## Materiais e métodos

**Confeção do catalisador:** Despejou-se 0,0150 mL de solução aquosa de  $\text{NH}_4\text{OH}$  29% (V/V), correspondente a 0,004 g de  $\text{NH}_4\text{OH}$ , em uma solução aquosa de  $\text{CuCl}_2$ , com 0,0148 g do soluto, misturando com agitador magnético a 60°C. Em seguida, foi adicionado 0,2002 g da zeólita ZSM-5, mantendo em agitação por 30 min a 60°C. Essa lama foi colocada na estufa durante uma noite. Posteriormente, calcinou-se o catalisador na mufla até 450°C, com rampa de 3°C/min, durante 4 h.

**Análise da zeólita:** Para a realização da microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizou-se o equipamento da marca FEI Quanta 250, com detector de elétrons secundários retroespalhados operando em tensão de aceleração de 20 kV. Essa análise foi feita na Central de Microscopia (CMI), localizada no Complexo de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Para ser analisada a área superficial BET, foi utilizado o equipamento Quanta Chrome NOVA do Laboratório de Catálise do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da UEM.

**Projeto do microrreator:** O microrreator foi dimensionado com a metodologia de Inoue, Schmidt e Jansen (2007) para ter 10 canais de 20 mm de comprimento e 625  $\mu\text{m}$  de diâmetro cada, espaçados de 25  $\mu\text{m}$  entre si. O material de fabricação escolhido para o protótipo final foi o silício. Porém, antes da construção do protótipo em silício, iniciou-se o projeto de uma microfresadora que possibilite a construção de reatores de microcanais em diversos materiais, tais como acrílico, latão, alumínio, cobre e até mesmo em aço inoxidável, seguido da aquisição de peças, eixos, motores e drivers. Na Figura 1 são apresentados o desenho da microfresadora projetada e o estado atual da construção do equipamento.

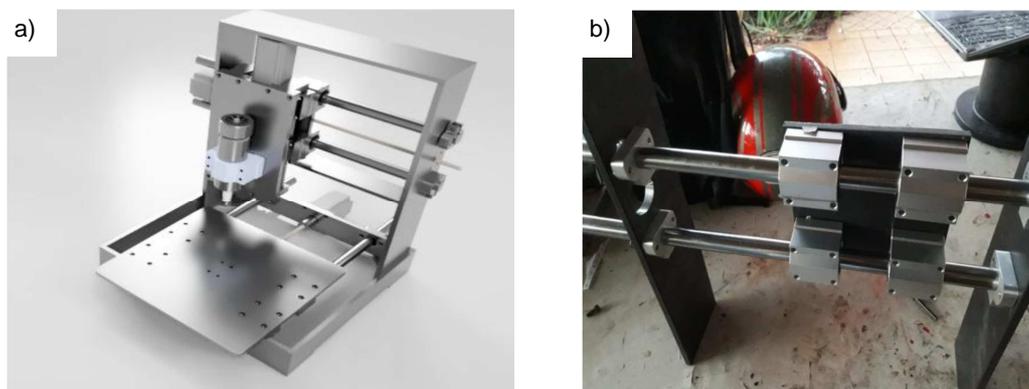
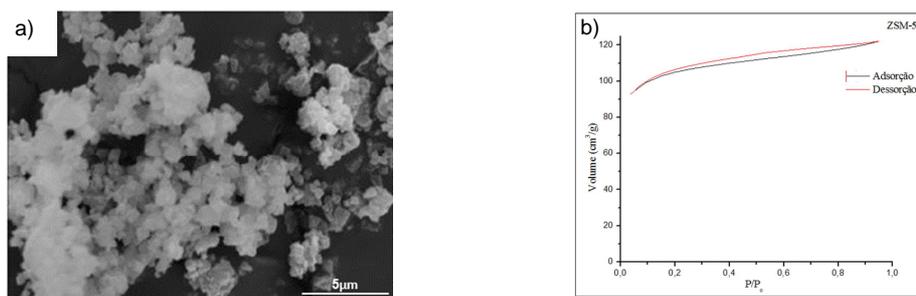


Figura 1 – Microfresadora a) projetada e b) em construção.

## Resultados e Discussão

Foi realizada a microscopia eletrônica de varredura (MEV) da ZSM-5 antes da impregnação com o cobre, a fim de comparar os efeitos dessa reação na sua superfície. De acordo com a Figura 2a), observa-se que a ZSM-5 apresenta morfologia ortorrômbica e que seus cristalititos estão dispostos em forma prismática, corroborando os estudos realizados por Feng, Li e Shan (2009).



**Figura 2** – Imagem de a) MEV da ZSM-5 ampliada 15000x e b) suas isotermas de adsorção e dessorção de nitrogênio.

Realizaram-se as isotermas de adsorção e dessorção de nitrogênio utilizadas para obtenção das áreas superficiais da zeólita ZSM-5, que podem ser visualizadas na Figura 2b). Através das isotermas, é possível avaliar a natureza dos poros e a forma com que a superfície do catalisador se apresenta. Assim, foi possível analisar que a isoterma obtida apresenta histerese, sendo classificada como isoterma de adsorção do tipo IV, segundo Figueiredo e Ribeiro (1989). A zeólita ZSM-5 normalmente é microporosa; logo, a mesoporosidade encontrada deve-se a uma pequena aglomeração dos cristais zeolíticos.

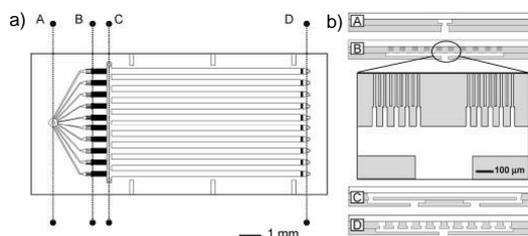
Os valores obtidos para a zeólita ZSM-5 de área superficial BET, área de microporos, volume de microporos e tamanho médio de microporos são apresentados na Tabela 1, pela qual se pode avaliar que o elevado valor obtido para a área superficial da ZSM-5 é característico de sólidos microporosos.

**Tabela 1** – Propriedades texturais da zeólita ZSM-5

Catalisador	Área BET (m <sup>2</sup> /g)	Área de microporos (m <sup>2</sup> /g)	Área de mesoporo (m <sup>2</sup> /g)	Área externa (m <sup>2</sup> /g)	Volume de microporos (cm <sup>3</sup> /g)	Tamanho médio de microporos (Å)
ZSM-5	342,7	217,1	17,57	125,6	0,1071	10,43

Essas análises foram realizadas a fim de, posteriormente, compará-las com os resultados obtidos após a incorporação do cobre, que foi realizada de acordo com a metodologia descrita. O cobre, de baixo custo e fácil obtenção, mostra alta atividade catalítica em outras reações, como a redução seletiva catalítica de NO (YASHNIK; ISMAGILOV; ANUFRIENKO, 2005). Por esse motivo, esse metal foi escolhido para substituir a platina inicialmente, devido ao alto custo do metal nobre.

O microrreator foi dimensionado a partir do projeto de Inoue, Schmidt e Jansen (2007), mostrado na Figura 3, e estão sendo estudadas maneiras de se construí-lo nos laboratórios do DEQ/UEM.



**Figura 3** – Esquema do microrreator de 10 canais. a) Vista do topo, onde (A) corresponde à distribuição de gás, (B) área de contato gás-líquido, (C) entrada de reagentes e os canais de reação e (D) saída dos produtos. As linhas rotuladas como A, B, C e D correspondem às quatro seções transversais b) do microrreator. **Fonte:** Inoue, Schmidt e Jansen (2007).

## Conclusões

A partir deste trabalho, foi sintetizado um catalisador Cu/ZSM-5, escolhido o material de confecção do microrreator e o equipamento foi dimensionado, para se estudar, ainda, a maneira de se construir o módulo reacional e a impregnação do catalisador no reator.

## Agradecimentos

Aos meus pais, pelo apoio, ao professor Marcos e à Daiane pela orientação e à Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica.

## Referências

- BELUCI, N. DE C. L.; DE SOUZA, M.; DE MORAES, F. F. Produção do peróxido de hidrogênio em sistemas de microescala. n. October, 2016.
- DE LA IGLESIA, O. *et al.* Preparation of Pt/ZSM-5 films on stainless steel microreactors. **Catalysis Today**, v. 125, n. 1–2, p. 2–10, 2007.
- FENG, H.; LI, C.; SHAN, H. In-situ synthesis and catalytic activity of ZSM-5 zeolite. **Applied Clay Science**, v. 42, n. 3–4, p. 439–445, 1 jan. 2009.
- FIGUEIREDO, J. L.; RIBEIRO, F. R. CATÁLISE HETEROGÊNEA. **Fundação Calouste Gulbenkian**, Lisboa, 1989.
- INOUE, T. *et al.* Direct hydrogen peroxide synthesis using glass microfabricated reactor - Paralleled packed bed operation. **Chemical Engineering Journal**, v. 278, n. January 2021, p. 517–526, 2015.
- INOUE, T.; SCHMIDT, M. A.; JENSEN, K. F. Microfabricated multiphase reactors for the direct synthesis of hydrogen peroxide from hydrogen and oxygen. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 46, n. 4, p. 1153–1160, 2007.
- YASHNIK, S. A.; ISMAGILOV, Z. R.; ANUFRIENKO, V. F. Catalytic properties and electronic structure of copper ions in Cu-ZSM-5. **Catalysis Today**, v. 110, n. 3–4, p. 310–322, 2005.