

APLICAÇÃO DA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL NO PROCESSO DE MICROFILTRAÇÃO EM MEMBRANAS CERÂMICAS

Hortência Luma Fernandes Magalhães¹; Josedite Saraiva de Souza²; Helton Gomes Alves³; Veruska do Nascimento Simões⁴; Severino Rodrigues de Farias Neto⁵
^{1,3,4,5} UAEQ/UFCG, hortencia.luma@gmail.com; helton.02@hotmail.com; veruskasimoes@hotmail.com; severino.rodrigues@ufcg.edu.br
² Faculdade Maurício de Nassau/DEM, eng.josedite@hotmail.com

Introdução

Os processos que utilizam membranas como meio filtrante, têm se destacado devido às várias características que as levam a ter melhor relação custo/benefício, simplicidade de operação, baixo custo energético, vida útil longa e uniformidade da qualidade do permeado durante todo o processo.

Por volta da década de 70, em união com os processos clássicos de separação surge uma nova classe de processos que utilizam membranas sintéticas com barreira seletiva, tais membranas surgem numa tentativa de imitar as membranas naturais já existentes, visando suas características únicas de seletividade e permeabilidade (HABERT et al., 2006).

Vieira *et. al* (2012) relata sobre o processo de separação água/óleo via membrana cerâmica, onde o fluido é injetado tangencialmente na membrana através de um dispositivo localizado em uma das suas extremidades e flui ao longo da membrana, enquanto o permeado é transportado perpendicularmente, e constata que a distribuição de pressão em três planos em torno da entrada tangencial encontra-se em maiores gradientes no meio poroso, o que assegura a penetração do fluido na membrana na direção radial, proporcionando assim o surgimento do filtrado.

Ghidossi *et. al* (2006) em uma revisão sobre a influência da fluidodinâmica computacional no processo de melhoria do desempenho de membranas menciona sobre microfiltração tangencial em membranas enroladas de forma helicoidal, onde os campos de velocidade e pressão tridimensional são calculados resolvendo às equações de Navier-Stokes numericamente, com um método de controle de volumes finitos e demonstra a importância da avaliação do Número de Reynolds e do Numero de Dean na avaliação do tipo mais eficaz de membrana. Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho é avaliar a influência da vazão de alimentação no processo de separação água/óleo empregando um módulo de separação constituído de dois tubos concêntricos, sendo o tubo interno constituído de uma membrana cerâmica microporosa.

Metodologia

O módulo de separação empregando a microfiltração é constituído de dois tubos concêntricos, sendo o interno uma membrana cerâmica. Utilizando uma malha tridimensional formada essencialmente por elementos hexaédricos contendo 12.876 elementos. As análises são realizadas considerando que o fluido da alimentação entra no módulo por uma entrada lateral quadrada, a corrente de concentrado sai na parte superior e uma corrente de fluxo que atravessa a membrana, no sentido de fora para dentro do interior da membrana. A corrente de permeado é recolhida pelo interior da membrana tubular, sentido esse contrário ao que vem sendo proposta na literatura (para módulo de permeação utilizando membranas cerâmicas) tornando-a dessa forma, uma proposta inovadora, objetivando a otimização no projeto de módulos de membrana. Além disso, as equações de conservação de massa, momento linear e

transporte de massa foram resolvidas com auxílio do software ANSYS CFX 15, adotando as seguintes considerações: viscosidade e densidade do contaminante (óleo) igual a do solvente puro (ρ igual a 997kg/m^3 e μ igual a 50 cP), escoamento incompressível, isotérmico e em regime permanente, velocidade de permeação local determinada de acordo com a teoria de resistências em série, a camada de concentração é assumida como sendo homogênea e a equação Carmen-Kozeny é válida, as partículas são consideradas rígidas e com diâmetro médio constante e igual a $80\ \mu\text{m}$.

Resultados e discussão

Ao analisar os campos de pressão representados sobre três planos transversais xy em três posições longitudinais $0,03\text{ m}$; $0,07\text{ m}$ e $0,12\text{ m}$, para dois valores do número de Reynolds (600 e 1000). Verifica-se que há maiores variações na distribuição da pressão sobre os planos nas posições $0,03$ e $0,12$, em virtude da influência dos dutos de entrada e de saída sobre o escoamento no interior do módulo de separação. Isto está relacionado a mistura do fluido ao entrar no módulo de separação, passa por uma expansão brusca e imediatamente, sobre um impacto direto na superfície da membrana, proporcionando, assim, uma perda de carga significativa e, à medida que avança no módulo de separação percebe-se uma maior uniformidade da distribuição do campo de pressão. Esses resultados estão em concordância com os trabalhos reportados na literatura, Pellerin *et al.*, (1995); Rahimi *et al.*, (2005); Ahmed *et al.*, (2011). Observa-se uma pressão em torno de $101,4\text{ kPa}$ apresentando uma variação de $0,009\text{ kPa}$ para o número de Reynolds igual a 600 . O mesmo comportamento é observado para o número de Reynolds igual a 1000 , porém a pressão é em torno de $102,6\text{ kPa}$, apresentando uma variação de pressão igual a $0,182\text{ kPa}$. Estes resultados podem ser explicados pelo comportamento do escoamento cisalhante na superfície da membrana, essa tensão de cisalhamento é maior em altos números de Reynolds o que provoca uma maior queda de pressão no módulo de permeação.

O campo de concentração foi avaliado em função do número de Reynolds sobre o plano longitudinal passando no centro do módulo de separação. Para a análise de concentração de soluto sob o plano yz fixou-se a escala de cores no valor da concentração da alimentação em 1 kg m^{-3} até o valor máximo de $1,1\text{ kg m}^{-3}$, para o número de Schmidt e permeabilidade iguais a 1000 e $1 \times 10^{-8}\text{ m}^2$, respectivamente, e variou-se o número de Reynolds (600 e 1000). Verifica-se que maiores concentrações de óleo são obtidas na corrente de concentrado (topo) e maiores distribuições de massa foram obtidas em maiores números de Reynolds. Dessa forma, constata-se que transferência de massa é dependente da velocidade, como pode ser observado com mais clareza pela representação dos contornos do campo de concentração no casco e na superfície da membrana, juntamente os contornos no eixo yz.

Ao realizar uma comparação, observa-se que o módulo de separação operando com um número de Reynolds igual a 600 obtém um coeficiente de rejeição de $86,5\%$ em comparação ao que utiliza o valor de Reynolds igual a 1000 , que atinge um coeficiente de rejeição de 90% , obtendo, portanto, um melhor desempenho.

Conclusões

Com os resultados numéricos da simulação do processo de filtração tangencial via membrana cerâmica pode-se concluir que:

- A modelagem matemática foi capaz de prever numericamente processo de filtração tangencial empregando membrana cerâmica no processo de separação água/óleo.

- A medida que se aumenta o número de Reynolds o aumento proporciona uma maior queda de pressão no módulo de permeação de 101,4 kPa e 102,7 kPa para Reynolds iguais a 600 e 1000, respectivamente.
- Maiores concentrações de óleo são obtidas na corrente de concentrado, com o aumento da vazão de alimentação, ou seja, pelo aumento do número de Reynolds.
- O módulo de separação água/óleo operando com número de Reynolds igual a 1000 obteve um desempenho melhor que o módulo com Reynolds igual a 600, atingindo um coeficiente de rejeição de 90%.

Palavras-Chave: Processo de separação, regime laminar, coeficiente de rejeição.

Referências

- HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de Separação por Membranas. 2006.
- GHIDOSSI, R.; VEYRET, D.; MOULIN, P. Computational fluid dynamics applied to membranes: State of the art and opportunities. , v. 45, p. 437 – 454, 2006.
- PELLERIN, E.; MICHELITSH, E.; DARCOVICH, K.; LIN, S.; TAM, C.M., Turbulent transport in membrane modules by CFD simulation in two dimensions, *Journal of Membrane Science* 100, 139–153, 1995.
- RAHIMI, M.; MADAENI, S.S.; ABBASI, K., CFD modeling of permeate flux in cross-flow microfiltration membrane, *Journal of Membrane Science* 255, 23–31, 2005.
- AHMED, S.; SERAJI, M. T.; JAHEDI, J.; HASHIB, M.A., CFD simulation of turbulence promoters in a tubular membrane channel, *Desalination* 276 191–198, 2011.
- VIEIRA, T. M.; SOUZA, J. S.; BARBOSA, E. S.; CUNHA, A. L.; FARIAS NETO, S. R.; LIMA, A. G. B., Numerical study of oil/water separation by ceramic membranes in the presence of turbulent flow, *Advances in Chemical Engineering and Science* 2, 257–265, 2012.