



CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANAS CERÂMICAS TUBULARES

Jefferson. L. Diel¹, Allan V. Morcelli¹, Isabel C. Tessaro¹, Aline S. Cassini¹

¹ LASEM Laboratório de Separação por Membranas
Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
R. Eng. Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-040 - Porto Alegre - RS - BRASIL,
E-MAIL: {jldiel, allamvm, isabel, ascassini}@enq.ufrgs.br

Resumo: Tendo em vista a utilização de membranas em processos industriais, a caracterização destas é de fundamental importância para as decisões de projeto. O presente trabalho tem por objetivo a caracterização de diferentes membranas cerâmicas tubulares, através da aplicação dos métodos de caracterização funcional: serão avaliadas a permeabilidade hidráulica e a retenção de cada uma delas. Foram utilizadas três membranas cerâmicas, tubulares de ultrafiltração (massa molar de corte de 5 kDa (M1), 20 kDa (M2) e 50 kDa (M3)) e duas de microfiltração (tamanhos nominais de poros de 0,1 μm (M4) e 0,4 μm (M5)). Os experimentos foram conduzidos em um sistema operado no modo reciclo total, concentrado e permeado retornam ao tanque de alimentação. Os resultados dos experimentos de determinação da permeabilidade hidráulica das cinco membranas estudadas mostraram que as membranas de microfiltração apresentaram resultados característicos, conforme o esperado, ou seja, a permeabilidade hidráulica foi maior para a membrana com maior tamanho de poro. As membranas de ultrafiltração, por sua vez, apresentaram resultados similares entre si, (valores muito próximos de permeabilidade hidráulica). O trabalho de estudo das membranas encontra-se em andamento e a próxima etapa trata do estudo da seletividade das membranas; será caracterizada a retenção das mesmas a diferentes solutos e comparada com os valores fornecidos pelo fabricante. Testes adicionais serão realizados com efluente industrial para avaliar o fouling das membranas de ultrafiltração.

Palavras-chave: caracterização, membranas cerâmicas tubulares, microfiltração, ultrafiltração, permeabilidade hidráulica, seletividade, retenção.

1-Introdução

A indústria química é, fundamentalmente, uma indústria de transformação e, para se chegar aos produtos finais com as especificações desejadas, é necessário separar, concentrar e purificar as espécies químicas presentes nas diferentes correntes resultantes dessas transformações. A área de membranas se desdobra hoje numa multiplicidade de aplicações e requer abordagem multidisciplinar (envolvendo engenheiros, físicos, químicos, bioquímicos e cientistas de materiais, entre outros). Em função das aplicações a que se destinam, as membranas apresentam diferentes morfologias. De um modo geral, as membranas podem ser classificadas em duas grandes categorias: densas e porosas. E de acordo com o material utilizado na fabricação das membranas, pode-se classificá-las como: poliméricas e inorgânicas.

As membranas tubulares cerâmicas são inorgânicas, apresentam uma vida útil maior e facilidade de limpeza, mas são mais caras do que as poliméricas. Podem ser caracterizadas em função de dois parâmetros: o fluxo permeado, que representa a vazão de permeado por unidade de área da membrana e a capacidade seletiva da

membrana, que está diretamente associada à relação entre o tamanho das espécies presentes no fluido e o tamanho dos poros da membrana. Para processos cuja força motriz é o gradiente de pressão, a capacidade seletiva da membrana, em relação a uma dada espécie, é medida através do Coeficiente de Retenção (R) é definido por uma relação entre a concentração da espécie na alimentação (C_b) e sua concentração no permeado (C_p) (PLATT *et al.*, 2002). Quando se trata de um solvente puro e sem interação com o material da membrana, o fluxo permeado, para uma dada pressão de operação, deve ser constante com o tempo; quando ocorre um decréscimo de fluxo do solvente puro com o tempo este se deve ao adensamento da microestrutura da membrana, fenômeno conhecido como compactação, o qual é função do valor da pressão aplicada e das características estruturais da membrana. A avaliação das características de compactação das membranas é de fundamental importância, a fim de evitar erros de interpretação nos resultados dos experimentos, pois a compactação da membrana pode ser confundida com outros fenômenos responsáveis pela diminuição do fluxo permeado, tais como a polarização por concentração e/ou o *fouling*, discutidos a seguir.

Quando se processa uma solução com solutos de baixa massa molar ou macromoléculas utilizando-se filtração por membranas, devido à seletividade do processo, independente da operação ser do tipo filtração frontal ou tangencial, sempre haverá aumento da concentração das espécies retidas próximo à superfície da membrana. O fato da concentração do soluto próximo à superfície da membrana ser maior do que no seio da solução, provoca um movimento difusivo deste soluto no sentido de retornar ao seio da solução. Este fenômeno, conhecido como polarização por concentração, é inerente a qualquer processo de transporte seletivo. Nas operações em escoamento tangencial a polarização por concentração se estabelece rapidamente, em questão de minutos. Ela também provoca uma resistência adicional à transferência de massa do solvente através da membrana, com conseqüente queda no fluxo permeado, relativa ao fluxo de solvente puro obtido na mesma pressão. A polarização por concentração é fortemente afetada pelas condições de escoamento da corrente da alimentação, quantificadas pelo número de Reynolds (Re). A concentração da alimentação também afeta o nível de polarização. No entanto, o aumento de fluxo permeado provoca uma maior concentração das espécies retidas próximo à superfície da membrana, o que tende a provocar uma queda no fluxo permeado. Assim, a partir de um certo valor de pressão, um aumento adicional desta, corresponde a um aumento equivalente na resistência ao transporte do solvente, devido à polarização por concentração. A conseqüência é que o fluxo permeado permanece inalterado com o aumento da pressão. Este valor de fluxo constante com a pressão é chamado de fluxo limite. Do ponto de vista prático, qualquer sistema de membrana deve ser operado em pressões inferiores a menor pressão que leve o fluxo permeado ao seu valor limite.

Em operações com escoamento tangencial é comum observar uma queda contínua do fluxo permeado com o tempo, indicando que outros fenômenos, além da polarização por concentração, devem estar presentes durante o processamento (RIPPERGER e ALTMANN, 2002). Este fenômeno transiente, normalmente é de alterações na retenção do soluto. Deve ser lembrado que nas operações em escoamento tangencial, em princípio, a polarização por concentração se estabiliza nos instantes iniciais do processamento. Entretanto, a estabilização do fluxo permeado, se chegar a ocorrer, pode demorar minutos, horas ou até alguns dias. Essa variação continuada do fluxo permeado com o tempo é atribuída a possíveis alterações na membrana provocada pelas espécies presentes na solução de alimentação. O conjunto dessas alterações é conhecido como *fouling* da membrana e, em alguns casos, pode levar a fluxos permeados tão baixos que chega a inviabilizar uma dada aplicação.

Dois processos muito comuns envolvendo membranas são a microfiltração (MF) e a ultrafiltração (UF). A MF é o processo de separação com membranas mais próximo da filtração clássica. Utiliza membranas porosas com poros na faixa entre 0,1 e 10 µm (100 e 10000 nm), sendo, portanto, indicada para a retenção de materiais em suspensão e emulsão. A UF é um processo de separação por membranas utilizado quando se deseja purificar e fracionar soluções contendo macromoléculas. As membranas de UF apresentam poros na faixa entre 1 e

100 nm; portanto, mais fechadas do que as membranas de MF. Soluções contendo solutos numa ampla faixa de massa molar ($10^3 - 10^6$ Dalton) podem ser tratadas por este processo.

Dentre as principais características das membranas de MF e UF pode-se citar a permeabilidade hidráulica, a retenção e a tendência ao *fouling* inerente a cada membrana. A permeabilidade hidráulica das membranas porosas pode ser obtida em função do fluxo permeado medido (J) quando se varia a pressão transmembrana (ΔP).

PERSSON *et. al.*, (1995) descreveram em seus estudos de compactação de membranas porosas que a lei de Darcy adaptada para membranas (modelo das resistências) é a descrição fenomenológica mais comum para o fluxo através de um meio poroso:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_m} \quad \text{Equação (1)}$$

onde:

J é o fluxo permeado [m/s];
 ΔP é a pressão transmembrana [Pa];
 μ é a viscosidade dinâmica do fluido [Pa.s];
 R_m é a resistência da membrana [1/m].

A permeabilidade hidráulica (K) é, basicamente, o inverso da resistência da membrana (R_m): $K = \frac{1}{R_m}$

A permeabilidade hidráulica é uma função do fluxo permeado e da ΔP , quando o fluido do sistema é exclusivamente a água:

$$K = \frac{J}{\Delta P} \quad \text{Equação (2)}$$

onde:

J é o fluxo volumétrico de permeado por área de permeação [L/m²/h];
 ΔP é a pressão transmembrana [bar];
 K é a permeabilidade hidráulica [L/m²/h/bar].

A permeabilidade hidráulica também pode ser calculada a partir da equação de Hagen-Poiseuille:

$$K = \frac{\varepsilon \cdot R_p^2}{8 \cdot \mu \cdot \tau \cdot \Delta x} \quad \text{Equação (3)}$$

onde:

ε é a porosidade superficial da membrana;
 τ é o fator de tortuosidade dos poros (para poros cilíndricos perpendiculares, a tortuosidade é igual a 1);
 μ é a viscosidade dinâmica do fluido [Pa.s];
 Δx é a espessura da membrana;
 R_p é o raio do poro [m];
 K é a permeabilidade hidráulica [m].

Tendo em vista a utilização de membranas em processos industriais, é de fundamental importância o conhecimento das características dessas. Uma caracterização preliminar em laboratório terá muita importância nas decisões de projeto. Dentro deste contexto, o presente trabalho visa a caracterização de diferentes membranas cerâmicas tubulares, através da aplicação dos métodos de caracterização funcional dos

principais parâmetros citados na bibliografia. Serão avaliadas, portanto, a permeabilidade hidráulica e a retenção destas membranas sob determinadas condições de operação.

2-Materiais e Métodos

Nos testes de caracterização, foram utilizadas três membranas de UF (massa molar de corte de 5 kDa (M1), 20 kDa (M2) e 50 kDa (M3)) e duas de MF (tamanhos nominais de poros de 0,1 μ (M4) e 0,4 μ (M5)). As membranas tem diâmetros interno e externo de 6 e 10 mm, respectivamente. O comprimento das membranas é de 20 cm, o que confere uma área de permeação de 47,12 cm². O material de suporte das membranas é Al₂O₃ para MF e adicionados ZrO₂ e TiO₂ para UF. As membranas foram fornecidas pela Andritz Separation. Os experimentos foram conduzidos em um sistema de filtração com membranas tubulares operado no modo reciclo total. O sistema de filtração é apresentado, esquematicamente na Figura 1.

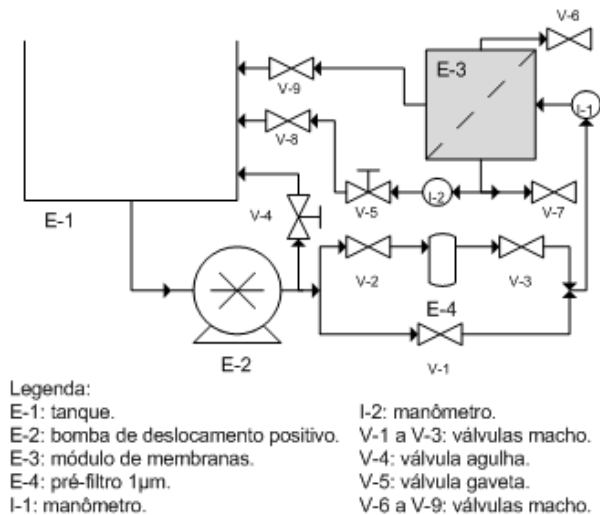


Figura 1: Fluxograma esquemático do sistema de filtração.

Como pode ser visto na Fig. 1, a unidade de filtração é constituída por um tanque de acrílico (E-1) com capacidade para 26 L com sistema de controle de temperatura por troca de calor com um banho térmico via serpentina; uma bomba de deslocamento positivo (E-2), com capacidade de bombeamento de 100 gph; um pré-filtro (E-4) com tamanho nominal de poros de 1 μ , cuja finalidade é reter partículas suspensas e evitar incrustações na membrana (as válvulas V-1, V-2 e V-3 são acessórios para a utilização ou não do pré-filtro) e um módulo de aço inoxidável para membranas tubulares (E-3).

O fluido bombeado para o módulo é dividido em duas correntes, a de permeado e a de concentrado. O sistema pode operar com retirada constante de permeado e/ou concentrado, ou também com reciclo de permeado e/ou concentrado ao tanque de alimentação. As válvulas V-6, V-7, V-8 e V-9 são acessórios para a configuração do tipo de escoamento: se o sistema está operando no modo de reciclo total, por exemplo, as válvulas V-8 e V-9 permanecem abertas e as válvulas V-6 e V-7 ficam fechadas, mas podem ser abertas eventualmente para coleta de permeado e/ou concentrado para análise. Dois indicadores de pressão manométrica com escala até 10 bar,

um instalado antes da entrada do módulo (I-1) e outro instalado na saída da linha de concentrado (I-2) são acessórios para a regulação de velocidade tangencial e pressão do fluido dentro do módulo feita através das válvulas reguladoras do tipo agulha (V-4), instalada no retorno do fluido ao tanque, e gaveta (V-5), instalada no retorno da linha do concentrado ao tanque. A diferença de pressão entre os dois manômetros fornece a perda de carga no interior do módulo. A pressão transmembrana (ΔP), ou seja, a força motriz do processo de filtração é a média aritmética entre a pressão de entrada e a de saída do módulo, uma vez que a pressão do lado permeado é a atmosférica.

Os fluidos utilizados nos experimentos foram solvente puro (água destilada) e soluções de polietilenoglicol (PEG) com diferentes massas molares (2, 4, 6, 10, 15, 20 e 35 kDa), na concentração de 1 g/L.

O PEG, nas diferentes massas molares, é um reagente P.A. fornecido pela MERCK.

A temperatura média de operação da unidade de filtração em que foram realizados os experimentos foi de 25 \pm 1°C (condições ambientais).

Todas as membranas foram compactadas antes de cada experimento a uma ΔP maior que a pressão de trabalho (8 bar) e operou-se o sistema permeando solvente puro até a obtenção de um fluxo estacionário de permeado (em torno de 2 a 4 h). As pressões de trabalho nos experimentos de permeabilidade hidráulica das membranas estudadas foram fixadas entre 2 e 5 bar, a fim de evitar a compactação destas durante os experimentos e, desta forma, minimizar a interferência deste efeito nos resultados obtidos. Em cada pressão ajustada foi feita a medida de fluxo manual, ou seja, foi medido um volume conhecido num determinado tempo e convertido para unidades de fluxo permeado.

3-Resultados e Discussão

Um exemplo clássico de experimento bem sucedido, (utilizando a membrana M4) para verificação de tempo de compactação e permeabilidade hidráulica está mostrado na Figura 2. Em ambos os testes, as condições de operação da unidade de filtração foram as mesmas. Os experimentos foram conduzidos em dias diferentes, nas mesmas condições iniciais.

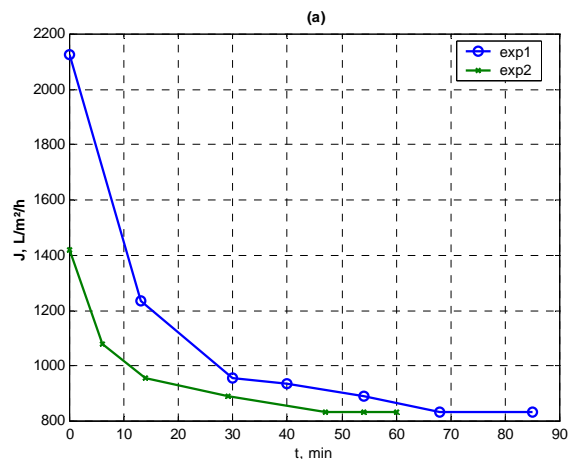


Figura 2: Compactação da membrana M4: (a) fluxo permeado [$L/m^2/h$] versus tempo [min] de experimento de compactação.

Como pode-se observar no gráfico fluxo vs. tempo, apresentado na Fig. 2a, a membrana foi compactada no primeiro experimento, ficou em repouso (12 h) e o fluxo inicial no segundo experimento foi menor; o tempo de compactação também mostrou-se inferior, mas o fluxo permeado estacionário não mudou.

Esse resultado mostra que as membranas estudadas sofrem o fenômeno de descompactação; um fenômeno que não era esperado em membranas cerâmicas em função de sua rigidez estrutural.

Tendo em vista que existe o fenômeno da descompactação da membrana quando em repouso, foi feito um teste de 2 h de duração (em média o tempo necessário para caracterização das membranas) a fim de verificar se o fenômeno de descompactação ocorre com a membrana em operação.

A pressão foi estabelecida em 8 bar, o fluxo foi medido, e imediatamente a pressão foi estabelecida em 2 bar para medidas de fluxo permeado, durante duas horas, a cada quinze minutos. Ao término do experimento, a pressão foi estabelecida imediatamente em 8 bar para comparar com o estado inicial.

A Figura 3 apresenta o resultado deste teste de descompactação para a membrana M2.

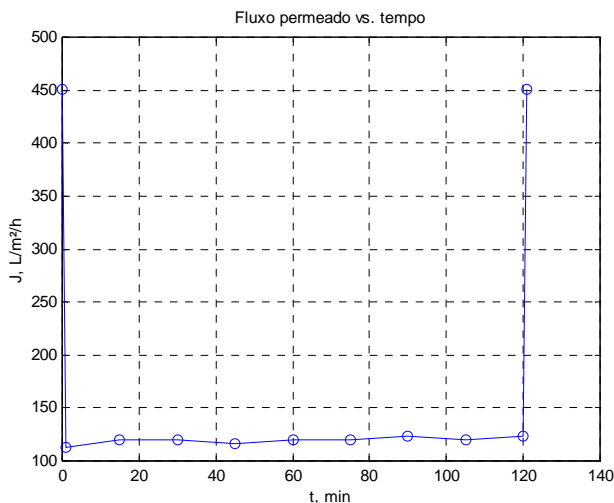


Figura 3. Fluxo permeado [L/m²/h] versus tempo [min] para membrana M2, partindo-se da pressão máxima (8 bar) e imediatamente estabelecendo uma pressão constante (2 bar) no decorrer do tempo; por fim, estabelecendo novamente a pressão inicial (8 bar).

Como pode ser observado na Fig. 3, o fluxo permeado permaneceu estável durante o tempo do experimento.

Pode-se constatar, portanto, que a membrana, quando em operação, não sofreu o fenômeno de descompactação. A descompactação só ocorre enquanto que a membrana permanece em repouso.

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados da avaliação do tempo de compactação na pressão de 8 bar e de permeabilidade hidráulica das membranas M2 e M1, respectivamente.

Durante os ensaios de compactação e permeabilidade hidráulica da membrana M2 (Fig. 4a e 4b), algumas variações de procedimento foram realizadas a fim de verificar o comportamento do fluxo. No experimento 1,

o pré-filtro foi utilizado e, comparando com o experimento 2, sem o pré-filtro, o resultado foi um aumento de fluxo permeado acredita-se que isto ocorreu por causa da diminuição da perda de carga da linha de escoamento (como pode ser observado no gráfico fluxo vs ΔP da Fig. 4b). Essa variação na perda de carga influencia na vazão de permeado nas pressões mais altas, a partir de 3 bar. O experimento 3 foi conduzido após a limpeza química; logo, é possível verificar que a membrana sofre um relaxamento na sua estrutura (abertura dos poros) durante a limpeza e o tempo de compactação praticamente dobra. Também é possível afirmar, a partir do gráfico fluxo vs. tempo apresentado na Fig. 4a, que o efeito de compactação foi maior depois que a membrana foi submetida a uma alta ΔP logo após uma limpeza.

Os ensaios para a M1 foram replicados com a mesma alteração no modo de operação feita no ensaio com a M2.

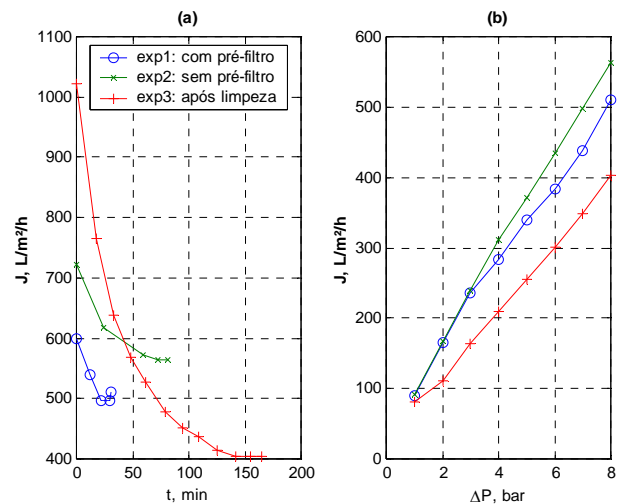


Figura 4: Compactação e permeabilidade hidráulica da membrana M2: (a) fluxo permeado [L/m²/h] versus tempo [min] de experimento de compactação, (b) fluxo permeado [L/m²/h] versus pressão transmembrana [bar].

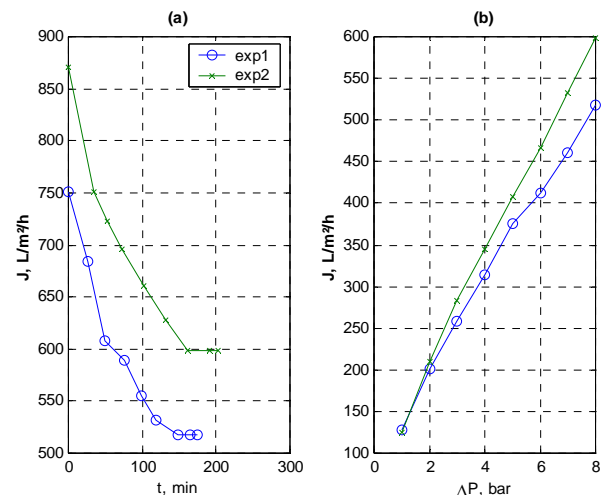


Figura 5: Compactação e permeabilidade hidráulica da membrana M1: (a) fluxo permeado [L/m²/h] versus tempo [min] de experimento de compactação, (b) fluxo permeado [L/m²/h] versus pressão transmembrana [bar].

Comportamento semelhante ao apresentado para a membrana M2 também pode ser visto na Fig. 5. Pode-se observar que os fluxos estacionários, apresentados no gráfico fluxo vs. tempo da Fig. 5a, são diferentes, visto que a temperatura inicial e final dos experimentos é diferente. A temperatura do experimento 2 é maior que a do experimento 1. A viscosidade da água em temperaturas mais altas é menor, e por consequência, o transporte através dos poros se torna mais fácil, e com o aumento da temperatura, tem-se o aumento do fluxo permeado. Além disso, a estrutura da membrana pode ser afetada pelo aumento da temperatura, contribuindo para o aumento do fluxo.

A Figura 6 mostra o resultado comparativo dos experimentos de determinação da permeabilidade hidráulica das cinco membranas estudadas, conduzidos nas mesmas condições de operação (apenas a temperatura do sistema variou pouco em função das condições ambientais). Pode ser observado nesta figura que as membranas de microfiltração (M4 e M5) tiveram resultados característicos conforme o esperado, ou seja, a permeabilidade hidráulica foi maior para a membrana com maior tamanho de poro.

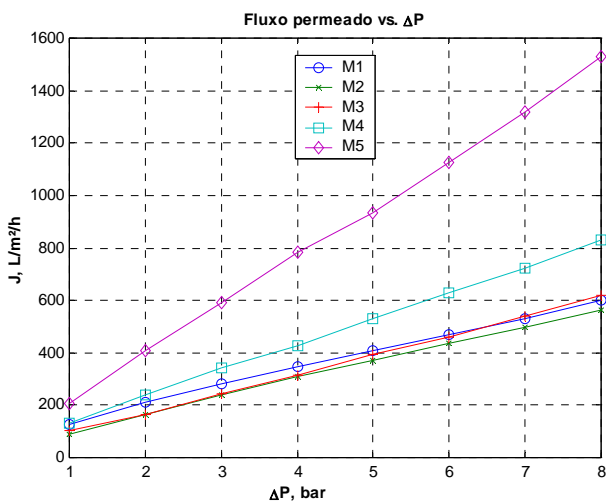


Figura 6: Fluxo permeado [L/m²/h] versus pressão transmembrana [bar] para as membranas de UF e MF estudadas.

A partir da Fig. 6, pode-se afirmar, ainda, que as membranas de ultrafiltração estudadas (M1, M2 e M3) tem comportamentos semelhantes entre si em relação à permeabilidade hidráulica. Esse comportamento não era esperado, visto que a permeabilidade hidráulica, entre outros fatores, é fortemente influenciada pelo tamanho de poros, conforme foi descrito anteriormente na Eq. (3). A expectativa era de se ter valores diferentes não necessariamente na mesma proporção das relações entre massas molares de corte.

O comportamento do fluxo permeado apresentado na Fig. 6 é linear conforme foi citado anteriormente e descrito na Eq. (2). Dessa forma, foi feita a estimação de parâmetros da reta por regressão linear dos pontos medidos durante os ensaios em cada membrana; logo, foram encontradas as constantes a (coeficiente angular) e b (coeficiente linear) para cada reta. A Eq. (2) descreve uma relação diretamente proporcional entre o fluxo permeado medido e a ΔP , onde K é a constante de proporcionalidade.

Dessa forma, supõe-se que o coeficiente linear apresentado nos experimentos é devido ao erro experimental de medida de fluxo permeado e não foi considerado nos resultados. O fluxo permeado foi medido através da técnica manual e direta, ou seja, recolheu-se um volume conhecido num determinado tempo e, depois, converteu-se para unidades de vazão de permeado por área de permeação da membrana (fluxo), uma vez que a área de permeação da membrana é conhecida.

A Tabela 1 registra os valores dos coeficientes angulares encontrados nos experimentos respectivos a cada membrana estudada. De acordo com a Eq. (2), o coeficiente angular é igual a K (permeabilidade hidráulica).

Tabela 1. Resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade hidráulica para as membranas estudadas.

Membrana	K [L/m²/h/bar]	R^2
M1	66	0,9975
M2	67	0,9985
M3	74	0,9995
M4	99	0,9995
M5	186	0,9990

CASSINI, (2008) também estudou as membranas de UF (M1, M2 e M3) e encontrou resultados semelhantes: 49, 60 e 52 L/m²/h/bar para cada membrana, respectivamente.

A Figura 7 mostra um procedimento de caracterização da permeabilidade hidráulica avaliado nas temperaturas de 20, 35 e 50 °C, respectivamente, para a membrana M1. Durante a aquisição dos dados de fluxo permeado nas diferentes pressões, a temperatura permaneceu estável.

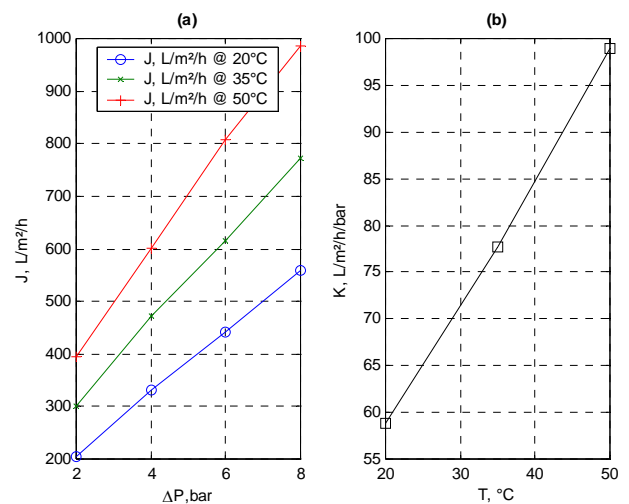


Figura 7: Avaliação do fluxo permeado e permeabilidade hidráulica para a membrana M1 nas temperaturas 20, 35 e 50 °C: (a) fluxo permeado [L/m²/h] vs. pressão transmembrana [bar], (b) permeabilidade hidráulica [L/m²/h/bar] vs. temperatura [°C].

O gráfico do fluxo permeado vs. ΔP , apresentado na Fig. 7a apresentou um comportamento onde o aumento de temperatura do processo implica no aumento do fluxo permeado. A partir dos dados de fluxo permeado, os valores de permeabilidade hidráulica, apresentados no gráfico K vs. T da Fig. 7b tem correlação linear com a temperatura.

Dessa forma pode-se concluir que a permeabilidade hidráulica de uma membrana tubular cerâmica aumenta com a temperatura do processo. Esse comportamento de aumento da permeabilidade já era esperado, uma vez que, entre outros parâmetros, a viscosidade da água diminui com o aumento da temperatura, e conseqüentemente, o fluxo permeado será maior.

A Figura 8 mostra um procedimento de caracterização da permeabilidade hidráulica avaliado nas temperaturas de 20, 35 e 50 °C, respectivamente, para a membrana M2. Durante a aquisição dos dados de fluxo permeado nas diferentes pressões, a temperatura permaneceu estável.

Pode-se verificar, assim como na Fig. 7, que os valores encontrados para a permeabilidade hidráulica (no experimento da Fig. 8) em função da temperatura tem comportamento linear.

Da mesma forma que o resultado anterior (Fig. 7) os coeficientes lineares, encontrados no experimento da Fig. 8, tiveram comportamento linear com a temperatura.

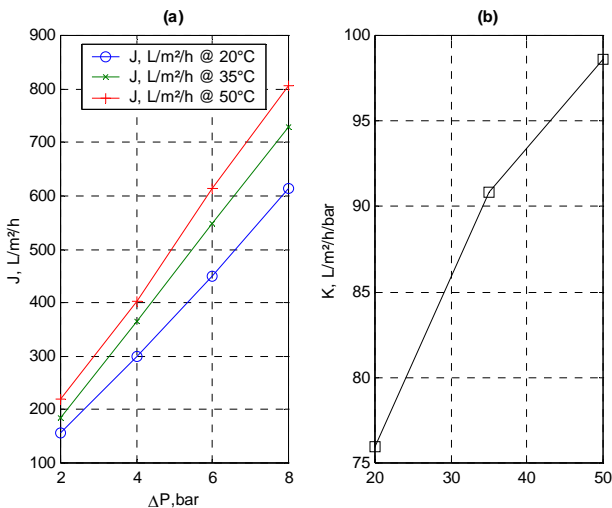


Figura 8: Avaliação do fluxo permeado e permeabilidade hidráulica para a membrana M2 nas temperaturas 20, 35 e 50 °C: (a) fluxo permeado [L/m²/h] vs. pressão transmembrana [bar], (b) permeabilidade hidráulica [L/m²/h/bar] vs. temperatura [°C].

Como pode ser observado nas Figuras 7 e 8, é possível, através de métodos matemáticos, obter uma predição da permeabilidade hidráulica em função da temperatura do processo.

Os resultados apresentados na Tab. 1 mostram valores de permeabilidade hidráulica calculados em temperatura ambiente (25 °C). Então, o gráfico da Fig. 7a (K vs. T) apresentou um valor predito de K aproximadamente igual a 60 L/h/m²/bar, muito próximo do valor encontrado na Tab. 1 (66 L/h/m²/bar).

É importante salientar que essa função de predição de K em função da temperatura é determinada experimentalmente e não pode ser generalizada para qualquer tipo de membrana tubular, e sim, especificamente para a membrana estudada, nas condições de operação utilizadas.

4-Conclusões Parciais

Foram avaliadas as membranas de ultrafiltração (M1, M2 e M3) nas mesmas condições de operação da unidade de filtração. O resultado mostrou que as membranas, apesar de terem MMC diferentes, apresentam uma permeabilidade hidráulica semelhante.

Para as membranas de microfiltração (M4 e M5), o resultado encontrado para a permeabilidade hidráulica foi considerado dentro das expectativas.

É possível, experimentalmente, encontrar uma predição de K em função da temperatura de processo em cada membrana estudada.

5-Próximas Etapas

O estudo de caracterização das membranas encontra-se em andamento e, portanto, nesse trabalho foi apresentada a caracterização das propriedades funcionais relativas ao fluxo permeado (permeabilidade hidráulica e estudo da compactação). A próxima etapa consistirá em dar prosseguimento nos experimentos de caracterização da seletividade das membranas, avaliando o coeficiente de retenção das mesmas. Serão feitos testes de retenção com as membranas de ultrafiltração e, com os resultados dos testes, será possível avaliar o grau de seletividade das membranas, além de verificar se a massa molar de corte nominal fornecida pelo fabricante pode ser confirmada.

Testes adicionais serão realizados com efluente industrial para avaliar o *fouling* nas membranas de ultrafiltração.

6-Referências Bibliográficas

- CASSINI, A. S. *Estudo de Processos Alternativos no Pré-tratamento de Efluentes Provenientes da Produção de Isolados Protéicos*. Tese de Doutorado. 2008.
- PERSSON, K. M.; GEKAS V.; TRAGARDH, G. *Study of membrane compaction and its influence on ultrafiltration water permeability*. Journal of Membrane Science. 1995.
- PLATT S.; MAURAMO M.; BUTYLINA S.; NYSTROM M. *Retention of pegs in cross-flow ultrafiltration through membranes*. Desalination. 2002.
- RIPPERGER S.; ALTMANN J. *Crossflow microfiltration: state of the art*. Separation Purification Technology. 2002.