



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá
Brasil

Rodríguez Alicieo, Tatiana Valesca; Scolin Mendes, Elisabete; Curvelo Pereira, Nehemias; Davantel de Barros, Sueli Teresa; Delboni Innocenti, Thiago; Alves, João Adriano
Análise do uso da membrana cerâmica de 0,2 m na clarificação de cerveja
Acta Scientiarum. Technology, vol. 30, núm. 2, 2008, pp. 181-186
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226522008>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Análise do uso da membrana cerâmica de 0,2 µm na clarificação de cerveja

Tatiana Valesca Rodríguez Alicieo^{1*}, Elisabete Scolin Mendes², Nehemias Curvelo Pereira², Sueli Teresa Davantel de Barros², Thiago Delboni Innocenti² e João Adriano Alves²

¹Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Rua Rivadávia Correia, 825, 97573-011, Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil. ²Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: tatianavra@hotmail.com

RESUMO. Neste trabalho são comparados o fluxo permeado e a qualidade do produto obtido na clarificação de cerveja por microfiltração tangencial, para uma membrana cerâmica tubular com tamanho nominal de poro de 0,2 µm na temperatura de 6 ± 1°C e pressões de 1, 2, 3 e 4 bar. Amostras do alimentado e permeado foram submetidas a análises físico-químicas. Além disso, foi realizado o estudo do mecanismo de *fouling*: bloqueio completo, bloqueio parcial e bloqueio interno de poros e formação de torta. Os resultados mostram redução de cor de 28,75% e de turbidez de 95,65% para a pressão de 4 bar. O estudo de *fouling* demonstrou que o mecanismo para a pressão de 1 e 3 bar foi o de bloqueio completo de poros e para a pressão de 2 e 4 bar o de formação de torta.

Palavras-chave: membrana, cerâmica, cerveja, microfiltração, *fouling*.

ABSTRACT. Analysis of the use of a 0.2 µm ceramic membrane for beer clarification. This work compares the permeated flow and the quality of the obtained product in the process of beer clarification by crossflow microfiltration. The membrane used in the present study was a tubular ceramic membrane with a 0.2 µm nominal pore diameter, at 6 ± 1°C and 1, 2, 3 and 4 bar of pressure. Samples of the feed and permeate were analyzed. Additionally, the fouling mechanism was studied: complete, partial, internal blockade of pores and cake filtration. The results show a 28.75% reduction in color and 95.65% in turbidity at 4 bar. The study of fouling showed that the mechanism used for the pressures of 1 and 3 bar was the complete blockade of pores, whereas for the pressures of 2 and 4 bar, the cake formation was the mechanism used.

Key words: membrane, ceramic, beer, microfiltration, fouling.

Introdução

Os processos de separação por membranas (osmose inversa, ultrafiltração e microfiltração) estão sendo muito usados na indústria alimentícia substituindo as técnicas convencionais de concentração, separação e clarificação. A microfiltração, em fluxo cruzado, parece ser uma alternativa na clarificação e esterilização de cerveja ao processo convencional usado nas cervejarias (Blanpain *et al.*, 1993).

As propriedades das membranas cerâmicas abrangem a durabilidade a altas temperaturas, suficiente resistência mecânica, resistência a solventes orgânicos e características únicas de superfície. Além disso, são resistentes ao ataque biológico e à esterilização a vapor, por isso sua contaminação por bactérias é pouco provável. Tal aspecto é altamente atrativo para a indústria

alimentícia e farmacêutica (Chi-Sheng Wu e Lee, 1999).

Uma das características dos processos de separação com membranas é que eles podem ser operados em fluxo cruzado ou tangencial (*cross flow filtration*), além da operação clássica do tipo *dead end filtration*. Na operação do tipo *dead end*, uma solução ou suspensão é pressionada contra a membrana. O permeado passa pela membrana e o soluto ou materiais em suspensão são retidos, acumulando-se na interface membrana/solução, no fenômeno chamado polarização de concentração. Na filtração de fluxo cruzado, a solução escoa paralelamente à superfície da membrana, enquanto o permeado é transportado transversalmente (Habert *et al.*, 1997).

Segundo Gan (2001), várias vantagens foram sugeridas para substituição do processo de filtração convencional pela microfiltração de fluxo cruzado. Estas incluem a eliminação do uso de agentes

filtrantes, redução das perdas de cerveja, substituição da pasteurização a quente e melhoria na qualidade do produto.

Fillaudeau e Carrère (2002) ressaltam que a comparação entre diferentes trabalhos deve ser considerada cuidadosamente, pois as condições experimentais e os produtos das cervejarias podem ser muito diferentes. Em seus estudos, a uma pressão de 1 bar, encontraram fluxo de $340 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ numa membrana de $1,4 \mu\text{m}$ e $18 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ numa membrana de $0,1 \mu\text{m}$.

Burrell e Reed (1994), trabalhando com cerveja, conseguiram fluxos de $30 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ com uma membrana de polipropileno com diâmetro médio de poro de $0,2 \mu\text{m}$ numa pressão de 1,3 bar e temperatura $< 3^\circ\text{C}$.

Gan et al. (2001), utilizando membrana cerâmica de $0,5 \mu\text{m}$ a $0,8 \mu\text{m}$ e $2,0 \pm 0,9^\circ\text{C}$, conseguiram redução de cor de 19% e de turbidez de 94,85%, enquanto Burrell e Reed (1994) conseguiram 3% para cor com uma membrana cerâmica de $0,5 \mu\text{m}$ a $1,3 \mu\text{m}$ bar e temperatura menor que 3°C .

O desempenho de operações com membranas é comprometido pelo fenômeno denominado *fouling*, que resulta na redução contínua do fluxo permeado. O *fouling* pode ser definido como a deposição irreversível de partículas retidas, coloides, emulsões, suspensões, macromoléculas, sais etc. na superfície da membrana.

Os vários modos de bloqueios de poros são uma função do tamanho e forma sólido/soluto em relação à distribuição de tamanhos de poros, segundo Giorno et al. (1998).

O bloqueio completo de poros ocorre quando as partículas são maiores do que o tamanho dos poros da membrana. As partículas que chegam à superfície da membrana a bloqueiam, obstruindo o poro completamente.

O bloqueio parcial de poros ocorre quando as partículas sólidas ou macromoléculas que chegam ao poro o selam. As partículas também podem se agrupar na forma de uma ponte de entrada do poro obstruindo-o, mas não completamente.

Quando as partículas ou macromoléculas que não entram nos poros formam uma torta na superfície da membrana, ocorre o *fouling* pela formação de torta.

O bloqueio interno dos poros ocorre quando as espécies entram nos poros e também são depositadas ou adsorvidas, reduzindo o volume destes. As irregularidades das passagens dos poros causam forte fixação das partículas, fechando-os.

Gan et al. (1997) afirmam que o *fouling* na microfiltração de cerveja é severo e complicado. Para

cerveja bruta, foi determinado o *fouling* no poro, pela adsorção/deposição, como sendo o fator predominante de *fouling*, para uma membrana cerâmica de $0,5 \mu\text{m}$.

Diferentes comportamentos de *fouling* foram observados por Czekaj et al. (2000) na filtração de duas amostras de cerveja, numa membrana de acetato de celulose de $0,2 \mu\text{m}$; mecanismos de *fouling* interno dominaram em ambas as amostras em diferentes tempos.

Para ambas as cervejas testadas por Blanpain e Lalande (1997), clarificada e cerveja bruta reconstituída, filtradas numa membrana de policarbonato de $0,2 \mu\text{m}$, os resultados indicam *fouling* no poro seguido de formação de torta.

Neste contexto tecnológico, este estudo tem como objetivo avaliar a aplicabilidade da membrana cerâmica de $0,2 \mu\text{m}$ por meio da microfiltração no processamento da cerveja, na etapa de clarificação; verificar a qualidade da mesma e avaliar o *fouling* que ocorre nos diferentes testes.

Material e métodos

Material

Em todos os experimentos, foi utilizada cerveja bruta, do tipo Pilsen, obtida a partir da etapa anterior à clarificação, proveniente de cervejaria localizada na região Sul do Brasil.

Os experimentos foram realizados na unidade UF Netzsch, modelo 027.06-1C1/07-0005/AI, adaptado para trabalhar em atmosfera inerte e com um módulo de aço inoxidável AISI 304, e membrana tubular cerâmica. A unidade piloto, cujo esquema pode ser visto na Figura 1, utiliza o princípio de filtração tangencial com membranas.

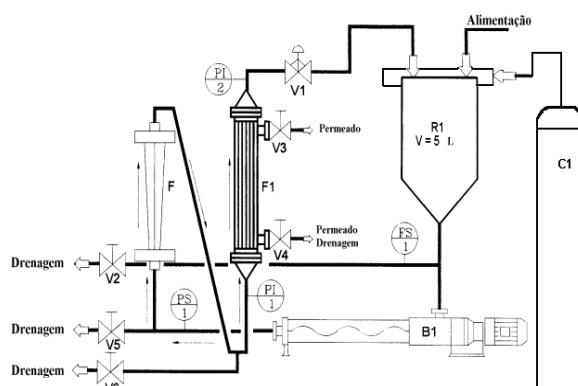


Figura 1. Desenho esquemático da unidade piloto de ultrafiltração (PI = Manômetro; R1 = Reservatório; FS = Chave de Fluxo; F = Rotâmetro; F1 = Módulo de Filtração; B1 = Bomba; V1 = Válvula reguladora de Pressão; C1 = Cilindro de gás; PS = Pressostato e V2, V3, V4, V5, V6 = Válvulas manuais).

Em todos os experimentos, foi utilizada uma membrana cerâmica (material: α - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$) Shumacher GmbH-Ti 01070, módulo tubular com diâmetro de poro de 0,2 µm e com área de filtração de 0,005 m². As pressões de trabalho foram de 1, 2, 3 e 4 bar e a temperatura foi de $6 \pm 1^\circ\text{C}$ para cada teste.

Procedimento experimental

Em todos os ensaios de clarificação realizados, o reservatório da unidade foi alimentado com 4 L de cerveja bruta. A operação da unidade foi realizada em batelada de modo que, em cada ensaio, a temperatura era controlada pela utilização de um banho termostático. O sistema foi levemente pressurizado com nitrogênio para evitar possível processo de degradação da cerveja pela presença do oxigênio do ar.

Enquanto a cerveja bruta era alimentada, foram mantidas a temperatura e a velocidade tangencial e variava-se a pressão do sistema. Ao entrar em contato com a membrana, a corrente não-permeada retornava ao tanque de alimentação e a corrente permeada era coletada em recipiente apropriado para armazenagem. Amostras do alimentado e do permeado foram coletadas para análises físico-químicas.

As análises para o controle de qualidade foram: pH, cor, turbidez, proteína, teor alcoólico, amargor, extrato real, primitivo e aparente. Essas foram realizadas para avaliação da cerveja, segundo metodologias da AOAC (1980), levando-se em conta o coeficiente de rejeição da membrana (R) definido pela equação (1).

$$R(\%) = \left(1 - \left(\frac{C_p}{C_i} \right) \right) \times 100 \quad (1)$$

em que:

C_p = concentração do soluto no permeado;
 C_i = concentração inicial do soluto.

Estudo do mecanismo de fouling

O fluxo de permeado foi caracterizado pelo modelo matemático apresentado por Field *et al.* (1995), capaz de descrever o declínio de fluxo em ultrafiltração tangencial. Este modelo pode ser descrito pela equação (2).

$$-\frac{dJ}{dt} J^{n_i-2} = k_i \cdot (J - J^*) \quad (2)$$

Essa equação é característica do fluxo tangencial com as constantes k_i e n_i tendo diferentes valores,

dependendo do mecanismo do *fouling*.

Em cada caso, o termo J^* pode ser considerado como o fluxo crítico que não deve ser excedido se o *fouling* deve ser evitado. Havendo o *fouling* e o consequente declínio de fluxo, $J^* = J_{lim}$, que é o fluxo assintótico para grandes períodos de tempo.

A partir da equação (2), formularam-se equações para cada tipo de *fouling*:

a) No modelo de bloqueio completo de poros ($n = 2$), sendo a equação resultante para este caso:

$$J = J_{lim} + (J_0 - J_{lim}) e^{-k_2 t} \quad (3)$$

em que:

J_0 = fluxo inicial de permeado ($t = 0$).

b) Para o bloqueio parcial de poros ($n = 1$) e a equação resultante é:

$$\sigma \cdot t = \frac{1}{J_{lim} \left[\ln \frac{J_0 - J_{lim}}{J_0} \frac{J}{J - J_{lim}} \right]} \quad (4)$$

em que: $\sigma = k_1$.

c) Modelo torta de filtração ($n = 0$).

A equação resultante para este caso é:

$$Gt = \frac{1}{J_{lim}^2} \left[\ln \left(\frac{J}{J_0} \frac{J_0 - J_{lim}}{J - J_{lim}} \right) - J_{lim} \left(\frac{1}{J} - \frac{1}{J_0} \right) \right] \quad (5)$$

em que: $G = k_0$.

d) Modelo de bloqueio interno de poros ($n = 1,5$).

Se o bloqueio interno dos poros ocorre, o *fouling* se torna independente da velocidade e não se alcança um valor limite para o fluxo, ou seja, $J_{lim} = 0$. A equação resultante para este caso é:

$$\frac{1}{J^{0.5}} = \frac{1}{J_0^{0.5}} + \left(\frac{K_s'}{2} \right) A^{0.5} \cdot t \quad (6)$$

sendo $\left(\frac{K_s'}{2} \right) A^{0.5} = k_{1.5}$, em que A é a área da membrana.

Resultados e discussão

Na Figura 2, é apresentado o comportamento do fluxo permeado de cerveja nas diferentes pressões. Os fluxos médios estabilizados obtidos foram de 34,08 kg m⁻² h⁻¹ para a pressão de 1 bar, 33,11 kg m⁻² h⁻¹ para a pressão de 2 bar, 35,47 e 35,05 kg m⁻² h⁻¹ nas pressões de 3 e 4 bar, respectivamente.

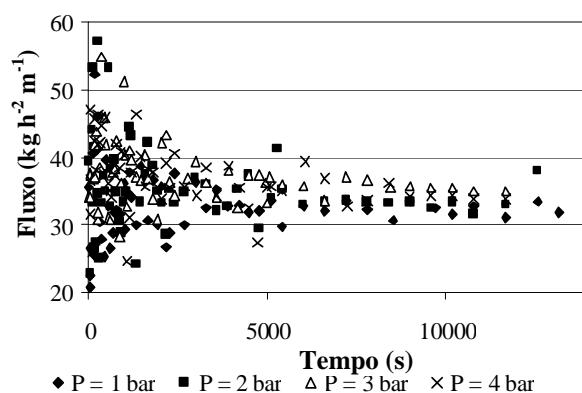


Figura 2. Fluxo de cerveja nas diferentes pressões.

O fluxo obtido não sofre alterações significativas quando a pressão é aumentada de 1 para 4 bar. Apresenta instabilidade de fluxo inicial que pode ser indicativo dos efeitos de polarização de concentração com consequente bloqueio externo. A torta formada na superfície da membrana é provavelmente composta por componentes de tamanhos maiores do que o diâmetro dos poros da membrana e não sofrem grandes compactações com o aumento da pressão, o que não causa variações importantes de fluxo permeado.

Na Tabela 1, são apresentados os valores de redução das variáveis analisadas nos diferentes testes realizados. Nota-se que há redução satisfatória na cor e turbidez, compatível com dados comerciais obtidos a partir do método convencional de filtração utilizando terra diatomácea, e que com o aumento de pressão há pouca variação no percentual de redução. A redução de cor mais significativa foi obtida no ensaio com pressão de 3 bar, sendo esta de 31,3%. A turbidez teve redução de 83,8% na pressão de 4 bar. Os extratos e o amargor apresentaram redução crescente com a pressão. Os valores médios para a redução de cor e turbidez foram de 24,94 e 91,24%, respectivamente.

Tabela 1. Percentual de redução dos parâmetros físico-químicos analisados.

Parâmetros	R (%)			
	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar
Cor (EBC)	20,5	19,3	31,3	28,8
Amargor (BU)	13,3	14,0	15,5	23,4
pH	-2,8	-0,7	-0,5	-0,2
Álcool (% v v⁻¹)	2,5	0,5	3,1	0,9
Extrato Primitivo (°P)	7,0	7,9	11,1	11,8
Extrato Real (°P)	16,7	23,1	30,4	32,1
Extrato Aparente (°P)	27,6	40,2	51,1	55,9
Turbidez (EBC)	79,3	79,1	75,8	83,8
Proteína (mg mL⁻¹)	37,9	49,7	70,3	62,2

O valor de pH não sofreu alteração significante após a microfiltração permanecendo em torno de 4,2, o que é considerado bom para a cerveja. O mesmo comportamento foi obtido por Pinto (2004),

na filtração de vinho branco, por Palacios *et al.* (2001), em um estudo comparando a filtração convencional com a microfiltração tangencial de vinhos, e por Goodwin e Morris (1991), estudando o efeito da ultrafiltração na qualidade do vinho.

O teor alcoólico manteve-se praticamente constante com valor médio de 6,4% (v v⁻¹).

Segundo Gan *et al.* (2001), a transmissão de álcool e o pH são pouco afetados durante a filtração, pois são constituídos por moléculas muito pequenas.

Pode-se afirmar que a proteína foi afetada em todos os testes, sendo retida. Isto pode ter sido causado pela redução do tamanho efetivo do poro por essas moléculas terem a propriedade de formar agregados maiores do que o diâmetro de corte das membranas (Xu-Jiang *et al.*, 1995; Guell e Davis, 1996 *apud* Czekaj *et al.*, 2000). O amargor, o extrato real e o extrato aparente também foram afetados. De acordo com Fillaudeau e Carrère (2002), a diversidade química e a larga faixa de tamanhos das partículas são responsáveis pela turvação na cerveja e dificultam a clarificação que utiliza processos com membranas.

Ao comparar os resultados obtidos por Ryder *et al.* (1988) *apud* Eagles e Wakeman (2002), com os resultados obtidos neste trabalho, podemos observar que os valores de redução obtidos para extrato original, teor alcoólico e amargor mostram-se coerentes. No entanto, a redução de proteína foi bem superior à encontrada pelos referidos autores.

Estudo do mecanismo de fouling

Para cada conjunto de dados experimentais $J \times t$ (Fluxo tangencial \times tempo de filtração), quatro corridas de otimizações foram realizadas sequencialmente, utilizando-se as equações do modelo e os correspondentes valores de J_{lim} em estado estacionário, observados experimentalmente.

Para identificar o mecanismo de fouling durante o processamento da cerveja, a estimativa dos parâmetros dos modelos k e n foi realizada de acordo com o procedimento de otimização de regressão não-linear utilizando o software Matlab®, a partir de um programa desenvolvido por Barros *et al.* (2002) para a análise dos dados de clarificação de suco de abacaxi por ultrafiltração.

A soma dos mínimos quadrados (SQM) dos resíduos entre os valores preditos e os experimentais foi o critério usado para escolher o ótimo valor de n e estabelecer o mecanismo de fouling.

A Tabela 2 permite avaliar o índice geral n_i e o coeficiente K_{ni} que melhor representam o comportamento experimental nas condições de pressões transmembrana estudadas. Estes comportamentos são apresentados na Figura 3.

Tabela 2. Valores das constantes e das somas dos mínimos quadrados (SQM) nas diferentes pressões.

Pressão (bar)	Kn0 SQM	Kn1 SQM	Kn1.5 SQM	Kn2 SQM	
1	$1,120 \times 10^{-4}$	49,26	$3,200 \times 10^{-3}$	58,80	$3,906 \times 10^{-4}$
2	$1,757 \times 10^{-5}$	53,75	$5,371 \times 10^{-4}$	61,30	$2,441 \times 10^{-4}$
3	$1,761 \times 10^{-5}$	14,38	$6,348 \times 10^{-4}$	13,19	$1,465 \times 10^{-4}$
4	$2,131 \times 10^{-5}$	19,80	$7,813 \times 10^{-4}$	24,94	$2,197 \times 10^{-4}$
					111,21
					$4,250 \times 10^{-2}$
					24,37

O bloqueio completo de poros reduz a superfície da membrana. Dependendo da velocidade tangencial, o fluxo permeado pode aumentar com o aumento da pressão transmembrana (Todisco *et al.*, 1996). Neste trabalho, porém, na faixa estudada, aumentando a pressão, verifica-se que o fluxo não sofre alterações significativas.

Stopka *et al.* (2001) citam que, se a suspensão a filtrar contém somente partículas maiores que os poros da membrana, os mecanismos de *fouling* observados são o bloqueio de poros e a formação de

torta.

Eagles e Wakeman (2002) afirmam que, no caso da microfiltração de sistemas particulados, as partículas menores do que os poros podem depositar-se nas paredes do poro ocasionando redução efetiva no diâmetro dos poros; partículas de tamanho similar aos poros da membrana tendem a bloqueá-los causando um declínio acentuado no fluxo permeado, e partículas maiores que os poros formam pontes e levam à redução drástica do fluxo.

Pela análise dos resultados das somas dos mínimos quadrados, apresentados na Tabela 2, e das curvas da Figura 3, observam-se comportamentos de *fouling* diferentes. Para a pressão 1 e 3 bar, ocorre o bloqueio completo de poros, representado pelo modelo cujo $n_i = 2,0$. O bloqueio de poros ocorre quando as partículas são maiores que os tamanhos dos poros da membrana; as partículas que chegam à superfície da membrana a bloqueiam obstruindo o poro completamente. Nas pressões de 2 e 4 bar, ocorre a formação de torta, representada pelo modelo cujo $n_i = 0$.

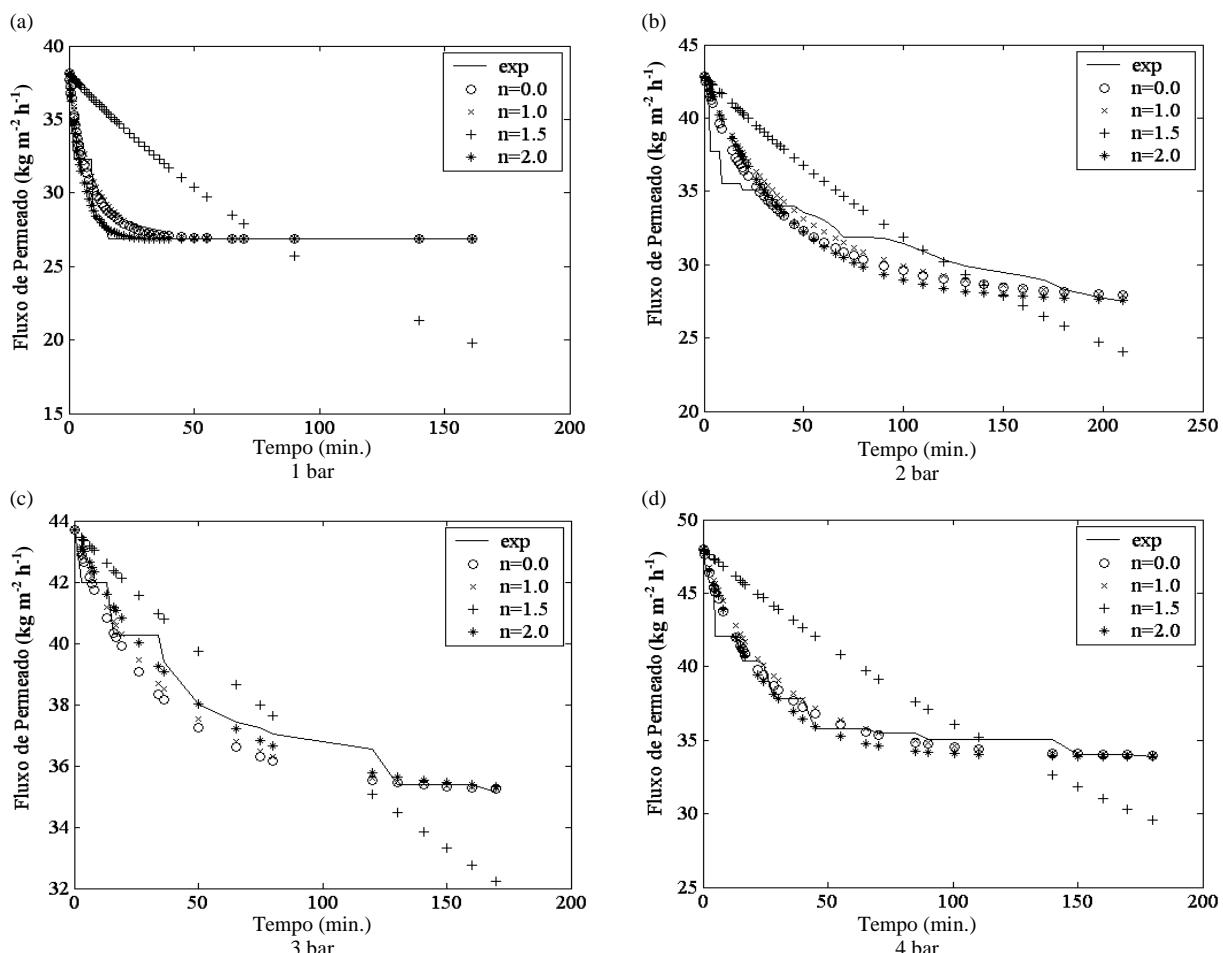


Figura 3. Mecanismo de *fouling* nas diferentes pressões para a membrana de 0,2 μm : (a) 1 bar, (b) 2 bar, (c) 3 bar e (d) 4 bar.

Neste trabalho, o mecanismo de *fouling* encontrado com cerveja bruta mostra-se coerente com os resultados encontrados na literatura em condições de operação semelhantes.

Nomenclatura

R: coeficiente de rejeição da membrana;
 Cp: concentração do soluto no permeado;
 Ci: concentração inicial do soluto;
 J: fluxo;
 t: tempo;
 J^{*}: fluxo crítico;
 n: constante que depende do mecanismo envolvido;
 k_f: constante que depende do mecanismo envolvido;
 J₀: fluxo inicial de permeado;
 A: área da membrana;
 SQM: soma dos mínimos quadrados.

Conclusão

Na faixa estudada, verifica-se que a pressão não influencia significativamente o fluxo permeado, que fica estabilizado em torno de 32,0 kg m⁻² h⁻¹.

Em todos os ensaios, observou-se redução de cor e turbidez, sendo a mais significativa na pressão de 4 bar com redução de 28,8% na cor e de 83,8% na turbidez.

O pH e o teor alcoólico não sofreram alterações consideráveis.

O estudo da dinâmica do decaimento de fluxo mostrou que o mecanismo de *fouling* na membrana cerâmica para microfiltração de cerveja, para a pressão de 1 e 3 bar foi o de bloqueio completo de poros e para a pressão de 2 e 4 bar o de formação de torta.

Referências

- AOAC—Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 13th ed. William Horwitz: AOAC, 1980.
- BARROS, S.T.D. *et al.* Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration. *J. Memb. Sci.*, Amsterdam, v. 215, n. 1-2, p. 213-224, 2002.
- BLANPAIN, P. *et al.* Mechanisms governing permeate flux and protein rejection in the microfiltration of beer with a cyclopore membrane. *J. Memb. Sci.*, Amsterdam, v. 84, n. 1-2, p. 37-51, 1993.
- BLANPAIN, P.; LALANDE, M. Investigation of fouling mechanisms governing permeate flux in the cross flow microfiltration of beer. *Filtr. Sep.*, Croydon, v. 34, n. 10, p. 1065-1069, 1997.
- BURELL, B.J.; REED, R.J.R. Crossflow microfiltration of beer: Laboratory-scale studies on the effect of pore size. *Filtr. Sep.*, Croydon, v. 31, n. 4, p. 399-405, 1994.
- CHI-SHENG WU, J.; LEE, E-H. Ultrafiltration of soybean oil/hexane extract by porous ceramic membranes. *J. Memb. Sci.*, Amsterdam, v. 154, n. 2, p. 251-259, 1999.
- CZEKAJ, P. *et al.* Membrane fouling during microfiltration of fermented beverages. *J. Memb. Sci.*, Amsterdam, v. 166, n. 2, p. 199-212, 2000.
- EAGLES, W. P.; WAKEMAN, R. J. Interactions between dissolved material and the fouling layer during microfiltration of a model beer solution. *J. Memb. Sci.*, Amsterdam, v. 206, n. 1-2, p. 253-264, 2002.
- FIELD, R. W. *et al.* Critical flux concept for microfiltration fouling. *J. Memb. Sci.*, Amsterdam, v. 100, n. 1-2, p. 250-272, 1995.
- FILLAudeau, L.; CARRÈRE, H. Yeast cells, beer composition and mean pore diameter impacts on fouling and retention during cross-flow filtration of beer with ceramic membranes. *J. Memb. Sci.*, Amsterdam, v. 196, n. 1, p. 39-57, 2002.
- GAN, Q. *et al.* Beer clarification by crossflow microfiltration: fouling mechanisms and flux enhancement. *Trans. I. Chem. E.*, Bath, v. 75, n. 1, p. 3-8, 1997.
- GAN, Q. Beer clarification by crossflow microfiltration: effect of surface hydrodynamics and reversed membrane morphology. *Chem. Eng. Process.*, Lausanne v. 40, n. 5, p. 413-419, 2001.
- GAN, Q. *et al.* Beer clarification by microfiltration – product quality control and fractionation of particles and macromolecules. *J. Memb. Sci.*, Amsterdam, v. 194, n. 2, p. 185-196, 2001.
- GIORNO, L. *et al.* Study of fouling phenomena in apple juice clarification by enzyme membrane reactor. *Separation Sci. Technol.*, v. 33, n. 5, p. 739-756, 1998.
- GOODWIN, C.O.; MORRIS, J.R. Effect of ultrafiltration on wine quality and browning. *Am. J. Enol. Vitic.*, Davis, v. 42, n. 4, p. 347-353, 1991.
- HABERT, A.C. *et al.* *Escola piloto em engenharia química: processos de separação com membranas*. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 1997.
- PALACIOS, V.M. *et al.* Comparative study of crossflow microfiltration with conventional filtration of sherry wines. *J. Food Eng.*, Essex, v. 54, n. 2, p. 95-102, 2001.
- PINTO, D.M. *Clarificação de vinho branco por ultrafiltração utilizando membranas cerâmicas*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)–Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.
- STOPKA, J. *et al.* Microfiltration of beer yeast suspensions through stamped ceramic membranes. *Sep. Purif. Technol.*, [S.l.], v. 25, p. 535-543, 2001.
- TODISCO, S. *et al.* Analysis of the fouling mechanism in microfiltration of orange juice. *J. Food Process. Preserv.*, Westport, v. 20, p. 453-466, 1996.
- XU-JIANG, Y. *et al.* A technique for the study of the fouling of microfiltration membranes using two membranes in series. *J. Memb. Sci.*, Amsterdam, v. 105, n. 1-2, p. 23-30, 1995.

Received on January 26, 2007.

Accepted on April 11, 2008.