

# ANÁLISE DO MECANISMO DE *FOULING* DURANTE A FILTRAÇÃO DE SUCO DE GRAVIOLA EM MEMBRANA DO TIPO FIBRA OCA

F. G. MARTINS<sup>1</sup>, M. G. MORIMOTO<sup>1</sup>, L. P. BESSA<sup>1</sup>, N. M. TERRA<sup>1</sup>, V. L. CARDOSO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química  
E-mail para contato: nat.mazza@hotmail.com

RESUMO – O fluxo de permeado é uma variável crítica para determinar se um processo de separação por membranas é eficiente, buscando sempre a maior taxa de permeação utilizando o mínimo consumo de energia. Neste trabalho avaliou-se o mecanismo de *fouling* durante a filtração de suco de graviola em uma membrana de alumina com geometria do tipo fibra oca e distribuição de poros assimétrica. O modelo de Hermia foi aplicado para modelagem do decaimento de fluxo em filtração perpendicular. Os resultados mostraram que o modelo de *fouling* predominante é pela formação de torta, reduzindo o fluxo de permeado de 71,82 para 11,64 L h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> em 1 h de processo. Este resultado deve-se principalmente ao alto teor de sólidos na alimentação e sugere que um pré-tratamento pode ser viável para otimizar o uso da membrana.

## 1. INTRODUÇÃO

A graviola (*Annona muricata*) é um fruto originário das Antilhas, geralmente ovoide, com cascas verdes, e saliências que se assemelham a curtos espinhos, sendo esta, cultivada principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. A graviola possui um sabor adocicado e é bem aceita para consumo pela população brasileira, sendo seus frutos utilizados na fabricação de sucos, sorvetes, compotas, geleias e doces (Sacramento *et al.*, 2003). Contudo, o consumo desta fruta restringe-se à sua localidade de produção, devido principalmente a alta perecibilidade da fruta. Ainda, a graviola apresenta consideráveis teores de compostos bioativos que podem ser extraídos e concentrados para serem então utilizados pelas indústrias cosmética, farmacêutica e de alimentos.

A aplicação dos PSM (processo de separação por membranas) em indústrias alimentícias surgiu no início da década de 80 e a sua integração com métodos convencionais tem ganhado destaque na industrialização de sucos de fruta devido à minimização de custos com matérias-primas e equipamentos e à maior qualidade do produto final. Assim, os processos convencionais combinados a PSM têm apresentado vantagens se comparado à aplicação de processos de separação isoladamente (Yamaguchi *et al.*, 2007).

O fluxo de permeado pela membrana é uma variável crítica do processo e o abrupto declínio de fluxo ocorre pelos fenômenos de polarização por concentração de *fouling*. O *fouling* é caracterizado pela adsorção de partículas sobre a superfície ou interior dos poros das membranas e/ou formação da camada gel, também denominada de camada de torta (Ripperger

e Altmann, 2002). A formação da camada de polarização por concentração e da camada de torta (*fouling*) pode ser minimizada quando condições operacionais ótimas são adotadas.

Este trabalho tem por objetivo principal avaliar os mecanismos de *fouling* na filtração de suco de graviola em membranas de fibra oca assimétrica de alumina, sendo os modelos de mecanismo de *fouling* ajustados aos dados experimentais de fluxo médio utilizando o modelo de Hermia para filtração perpendicular.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Polpa de graviola congelada foi comprada em um supermercado local (Uberlândia-MG) e batida em liquidificador doméstico com água na proporção volumétrica de 2:9 (polpa:água). A filtração *dead-end* foi realizada em módulo OSMO Convergence Inspector (modelo Minos, Netherlands) e membranas de fibras ocas de alumina com área de  $1.315 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  foram empregadas. O suco foi filtrado em temperatura ambiente, com pressão transmembrana de 0,5 bar. Durante o processo, o permeado foi coletado continuamente e seu volume medido para o cálculo do fluxo de suco de graviola permeado ( $J$ ) em função do tempo, de acordo com a Equação (1).

$$J = \frac{m}{A \cdot t} \quad (1)$$

Sendo  $J$  o fluxo de permeado ( $\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$ );  $m$  a massa de permeado (kg);  $A$  área superficial da membrana ( $\text{m}^2$ ) e  $t$  o tempo de coleta do permeado (s).

Com os dados de fluxo coletados com o tempo, o modelo matemático proposto por Hermia (1982), descrito pela Equação (2), foi utilizado para descrever o mecanismo de *fouling* da microfiltração do tipo *dead-end* do suco de graviola para a fibra oca assimétrica.

$$-\frac{dJ}{dt} = K_n A^{2-n} J^{3-n} \quad (2)$$

Sendo  $A$ , a área da membrana,  $J$  o fluxo de permeado e  $K_n$  um parâmetro ajustado com os dados experimentais. O valor de  $n$  é verificado de acordo com o melhor mecanismo de *fouling*, sendo:  $n=0$  para a formação de torta;  $n=2$  para o bloqueio total do poro;  $n=1$  para o bloqueio parcial do poro e  $n=1,5$  para o bloqueio interno do poro.

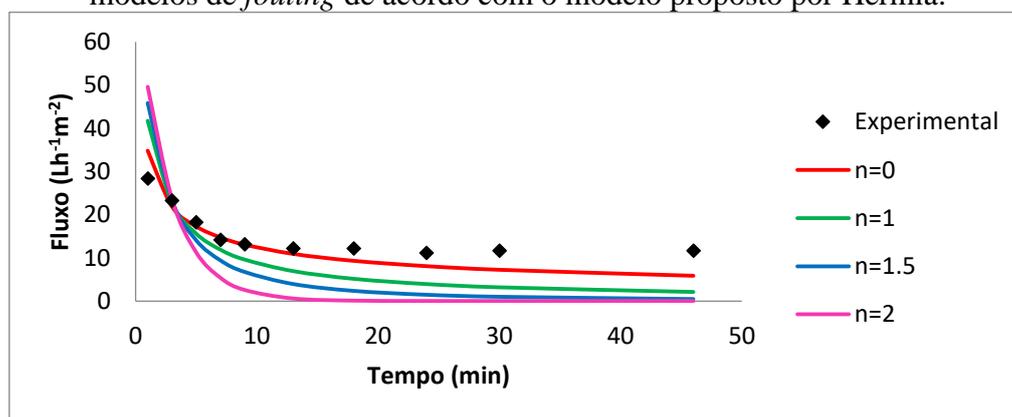
Assim, tem-se um conjunto de quatro equações diferenciais, sendo uma para cada valor de  $n$  e, portanto, uma para cada mecanismo de *fouling*, sendo então determinado o melhor ajuste dos dados experimentais com uma das quatro equações características de cada mecanismo de *fouling*. A Equação (2) foi resolvida numericamente usando o método de

Levenberg-Marquardt no programa Fortran, usando um passo de integração igual a  $10^{-3}$  e precisão de  $10^{-8}$ .

### 3. RESULTADOS

O decaimento do fluxo em função do tempo para o suco de graviola através da fibra oca está apresentado através da Figura 1. Ao permear o suco de graviola na pressão de 0,5 bar, observa-se que o fluxo através da membrana de alumina decai rapidamente, saindo de 71,82 para 13,15  $L h^{-1} m^2$  nos primeiros 10 min, estabilizando em 11,64  $L h^{-1} m^2$  ao final de 1 h de filtração.

Figura 1 - Perfil do fluxo de permeado de suco de graviola em função do tempo através da membrana de fibra oca. As linhas representam os valores calculados para os modelos de *fouling* de acordo com o modelo proposto por Hermia.



O ajuste para o mecanismo de *fouling* com os dados experimentais do fluxo de permeado para a filtração com a fibra oca está apresentado pela Figura 1. Os valores do resíduo e da raiz quadrada do desvio (RQD) entre os valores calculados e os experimentais para cada modelo de *fouling* está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resíduo e raiz quadrada do desvio (RQD) entre os valores de fluxo experimental e calculado para cada modelo de *fouling*.

	Modelo de <i>fouling</i>			
	Formação de torta (n = 0)	Bloqueio parcial do poro (n = 1)	Bloqueio interno do poro (n = 1,5)	Bloqueio total do poro (n = 2)
Residual	129,7	515,6	906,5	1387,4
RQD	3,8	7,6	40,0	12,4

De acordo com o perfil de fluxo permeado, o melhor ajuste para o mecanismo de *fouling* no processo de permeação do suco de graviola através da fibra oca foi  $n=0$ , uma vez que apresentou os menores valores de resíduo e RQD.

Tratamentos prévios à filtração podem ser adotados visando reduzir a formação de torta na membrana, aumentando também o fluxo de permeado. Estes pré-tratamentos, podem alterar o tipo de *fouling* que ocorrerá na membrana de fibra oca utilizada.

#### 4. CONCLUSÃO

A análise dos mecanismos de *fouling* durante a filtração de suco de graviola em membranas de fibra oca de alumina indicou a formação de torta como mecanismo de *fouling* predominante, ou seja, os sólidos presentes no suco maiores que os poros da membrana formaram uma torta que reduziu o fluxo de permeado. Sugere-se que pré-tratamentos sejam realizados possibilitando a minimização das ocorrências de *fouling*, alterando consequentemente o fluxo de suco permeado.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Uberlândia e a Faculdade de Engenharia Química pela oportunidade em realizar este trabalho. Agradecem também ao apoio financeiro da FAPEMIG, CAPES e CNPq.

#### 6. REFERÊNCIAS

- SACRAMENTO, C. K.; FARIA, J. C.; CRUZ, F. L. Physical-chemical characterization of fruit of three types of soursop trees (*Annona muricata L.*). *Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal*, v. 25, n. 2, p. 329-331, Aug. 2003.
- YAMAGUCHI, T.; NIITSUMA, T.; BALAGOPAL, N. N.; KAZUAKI, N.; Lithium silicate based membranes for high temperature CO<sub>2</sub> separation. *J. of Membr. Sci.* 294 (2007) 16-21.
- RIPPERGER, S.; ALTMANN, J. Crossflow microfiltration – state of the art, *Separation and Purification Technology*, 26 (2002) 19–31.