

## Área: Engenharia de Alimentos

# EFEITO DA PRESSÃO E VAZÃO DE RECIRCULAÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES PRESENTES NA ÁGUA DE ENXÁGUE DE LATICÍNIOS POR OSMOSE INVERSA

Ana Cláudia Vieira Salla, Caroline Dalcin Zanon, Vandrê Barbosa Brião\*

*Laboratório de Operações Unitárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo*

*\*E-mail: vandre@upf.br*

## RESUMO

As indústrias de laticínios possuem um elevado potencial poluidor, pois consomem um grande volume de água e geram um efluente com alta carga orgânica. Com as crescentes exigências no controle da poluição lançada bem como a cobrança de recursos hídricos, as empresas vêem-se obrigadas a buscar alternativas para o reuso de águas e a minimização de lançamentos de efluentes. A osmose inversa (O.I.) pode ser utilizada para tal fim, uma vez que são processos de separação a nível molecular ou mesmo atômico. O objetivo do trabalho foi utilizar a O.I. para recuperar nutrientes do leite presentes em águas de primeiro enxágue, e testar qual a melhor condição experimental (C.E.) de operação da membrana para tal fim. Na primeira etapa simulou-se uma água de primeiro enxágue, que foi alimentada ao módulo piloto de O.I. para separar o permeado e o retido. Foram testadas quatro condições experimentais, e em cada uma recolheu-se amostras do permeado inicial e final, alimentação e retido. Das quais foram analisados os seguintes parâmetros: lactose, proteína, cinzas e gordura. Em cada C.E. as variáveis independentes foram os valores de pressão e vazão de recirculação do retido para analisar qual é a condição mais favorável para a recuperação de nutrientes. A condição que utilizou maior vazão de recirculação e maior pressão demonstrou ser a melhor para a recuperação de nutrientes. A osmose inversa é eficiente para recuperação de nutrientes, minimização de efluentes e possibilita um ganho econômico em processos de derivados lácteos.

**Palavras-chave:** leite, nutrientes, membrana, efluente, indústria.

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de leite no Brasil vem apresentando um crescimento anual significativo desde o início dos anos 90. No período entre 1996 a 2004 este crescimento foi da ordem de

2,96% ao ano, quando a produção saltou de 19 para 23,3 bilhões de litros. A produção nacional cresceu 73% nos últimos dez anos, destacando-se mundialmente como o sexto maior produtor de leite. O Rio Grande do Sul produz aproximadamente 2,5 bilhões de litros de leite ao ano, sendo responsável por 10% da produção nacional; desde total, a região da produção, compreendendo a região do planalto médio gaúcho, é responsável por 70% da produção do estado (FERNANDES et al. 2004).

Este crescimento deve estar associado às inovações visando o desenvolvimento sustentável, de modo que permita a manutenção da produtividade de toda a cadeia, sendo na produção primária, industrialização, logística e comercialização dos produtos lácteos, e visando também a conservação dos recursos naturais.

O volume de água utilizado pelas indústrias de laticínios para seus processos pode acarretar prejuízos ambiental. As águas de enxágue vem a se tornar efluentes, contendo uma alta carga orgânica. Este efluente apresenta um elevado potencial poluidor, visto que contém carboidratos, gorduras, proteínas e alguns sais. As indústrias de laticínios possuem um grande potencial de poluição, cerca de 400 vezes maior que o esgoto doméstico (COSTA, 2010).

O processo de osmose inversa apresenta-se como uma alternativa promissora, pois são meio porosos que atuam como filtros em nível molecular, possibilitando a recuperação desses nutrientes presentes na água de primeiro enxágue. O que possibilita ganho ambiental e econômico. Econômico pois o retido é utilizado como insumo para produção de derivados lácteos e ambiental visto que o lançamento de efluente é minimizado.

O objetivo foi utilizar a osmose inversa para separar nutrientes da água de enxágue de laticínios e avaliar o efeito das diferentes condições experimentais de vazão e pressão testadas na remoção desses nutrientes e no fluxo permeado.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho experimental utilizou uma membrana espiral de osmose inversa de poliamida PA da fabricante Koch Membrane Systems (modelo 3838 HR-NYV) e área filtrante de 7,1 m<sup>2</sup>, cuja rejeição de cloretos é 99,3%, em um módulo piloto de filtração

tangencial. Segundo Sidney, 1999 qualquer que seja a técnica empregada no preparo de uma membrana, é necessário a sua caracterização, tendo em vista a aplicação a que se destina. A caracterização da membrana de osmose inversa foi feita em termos de rejeição de cloretos e da permeabilidade hidráulica. Para medir a permeabilidade hidráulica alimentou-se o tanque do equipamento com 50 L de água permeada, a determinação do fluxo dessa água foi realizada medindo-se em cronômetro, o tempo de permeação para se obter um determinado volume de permeado.

Após, simulou-se uma água de primeiro enxágue diluindo-se leite em pó em água em uma concentração de 2 g/L. E com essa água testou-se quatro condições experimentais, cuja as variáveis independentes foram a vazão de retido e a pressão. Na tabela 1 estão apresentadas as variáveis de resposta de cada C.E. testada. Em cada condição coletou-se amostras de alimentação, retido, permeado inicial e final. As variáveis de resposta foram a rejeição da membrana em termos de proteína, óleos e graxas, lactose, e cinzas do permeado. Realizou-se a duplicata do experimento e os ensaios analíticos foram realizadas em triplicata.

Tabela 1: Condições experimentais testadas e suas variáveis independentes.

Condição experimental	Pressão (MPa)	Vazão (L/h)
I	1	1 000
II	1	3 000
III	2	1 000
IV	2	3 000

## 2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um dos fatores mais simples para se caracterizar membranas densas é através de medidas de sua permeabilidade para líquidos. A permeabilidade hidráulica da membrana de osmose inversa (Figura 1) foi de 0,023 L.m<sup>-2</sup>h-1kPa-1, e essa pode ser influenciada por vários fatores como a temperatura, cristalinidade, pressão e vazão de recirculação. Sidney (1999) testou duas membranas comerciais de O.I., obtendo permeabilidades de 0,0197 L.m<sup>-2</sup>h-1kPa-

1 e 0,0288 L.m<sup>-2</sup>h-1kPa-1. O que demonstra que o valor da permeabilidade da membrana de O.I. utilizada está de acordo com o de outras membranas que utilizam o mesmo princípio de separação.

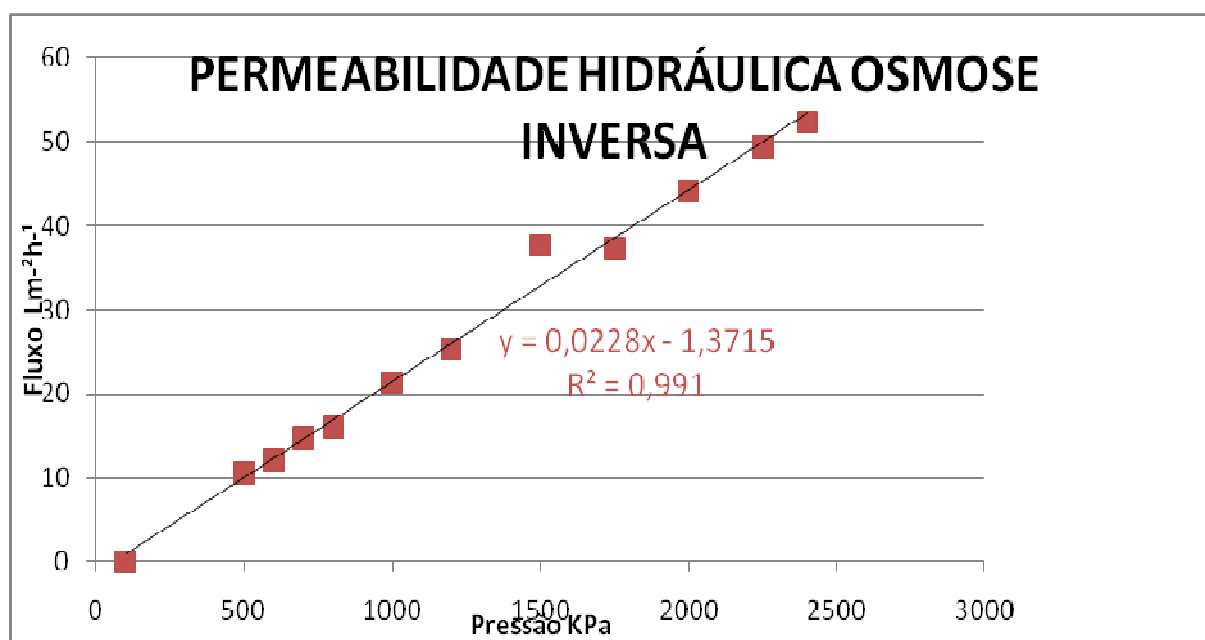


Figura 1: Permeabilidade hidráulica da membrana de O.I.

Na Figura 2 estão apresentadas as curvas de fluxo obtido com a água de enxágue; na C.E. I, após 50 min o fluxo foi de 14,1 Lm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>, enquanto C.E. IV o fluxo medido foi de 28,2 Lm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>. A C.E. II o fluxo foi de 13,34 Lm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>, entretanto na C.E. III de 18,11 Lm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>. Considerando somente a vazão de recirculação, nos experimentos em que a pressão era 1 MPa (C.E. I e II), o fluxo aumentou 94,6 % com o aumento da vazão de 1 000 L/h para 3 000 L/h. E nos experimentos em que a pressão utilizada foi de 2 MPa (C.E. III e IV), e a vazão aumentou na mesma proporção, o fluxo também aumentou, numa proporção de 64%. Analisando somente a pressão, quando a vazão foi mantida constante, também obteve-se um aumento do fluxo, no experimento em que utilizou 1 000 L/h e a pressão aumentou de 1 MPa para 2 MPa esse aumento do fluxo foi de 73,6% enquanto que quando utilizou-se a vazão de 3 000 L/h observou-se um aumento de 50% no fluxo de permeado. A condição experimental que otimizou o fluxo permeado foi a que utilizou pressão de 2 MPa e vazão de 3 000 L/h. Na Figura 2 observa-se que em todas as C.E. no final do processo há uma redução no fluxo de permeado, comportamento comum neste processo de filtração tangencial. Essa redução no

fluxo deve-se ao fato que macromoléculas e solutos iônicos presentes na água de enxágue iniciam o fenômeno de polarização da concentração.

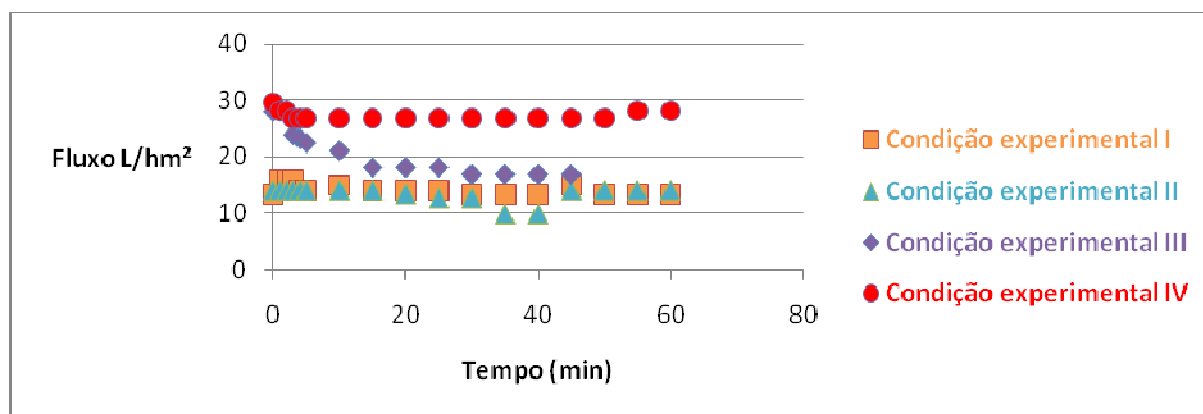


Figura 2: Curvas de fluxo de cada C.E.

Nas Tabelas 2 e 3 apresentam-se os resultados da concentração de cada parâmetros analíticos para cada condição experimental testada, da água de enxágue e do permeado inicial, respectivamente.

Tabela 2: Resultados dos parâmetros analisados na alimentação (efluente simulado) – média e desvio padrão.

Condição experimental	Pressão	Vazão	Lactose	Proteína	Gordura	Cinzas
	( MPa)	(L/h)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
I	1	1 000	1494,5± 66,1	577,6 ± 7,6	431,9 ± 8,6	219,7 ± 6,2
II	1	3 000	1475,9± 93,0	598,2 ± 1,4	426,5 ± 23,8	239,3 ± 19,8
III	2	1 000	1475,9± 93,0	589,6 ± 9,6	427,6 ± 9,6	215,3 ± 10,0
IV	2	3 000	1334,5± 95,5	548,1 ± 21	476,8 ± 7,8	86 ± 0,87

A capacidade de rejeição da membrana para cada condição experimental em cada parâmetro avaliado estão apresentados na Tabela 4. A rejeição foi calculada através da fórmula  $R=[1-(C_p/C_a)] \times 100$ , onde R é a rejeição da membrana,  $C_p$  é a concentração do permeado inicial, e  $C_a$  é a concentração da alimentação.

Tabela 3: Resultados de cada parâmetro no permeado inicial – média e desvio padrão.

Condição experimental	Pressão	Vazão	Lactose	Proteína	Gordura	Cinzas
	(MPa)	(L/h)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
I	1	3 000	10,19 +- 0,78	15,42 +- 0,94	42,6 +- 1,1	14,26 +-0,93
II	1	1 000	14,03 +- 7,42	9,93 +- 0,73	96,11 +- 11,46	8,55 +- 3,93
III	2	1 000	6,66 +- 2,2	12,73 +- 1,21	54 +- 11,33	26,33 +- 3,66
IV	2	3 000	13,38 +- 3,69	8,12 +- 1,17	29,5 +- 2,5	25,75 +- 2,25

A rejeição de todos os parâmetros analisados, como, cinzas, óleos e graxas, proteínas e lactose, foram altos em todas as C.E.; a C.E. IV obteve maiores rejeições em teor de gordura e proteína, sendo 93,81% e 98,5% respectivamente, o que permite afirmar que o processo de separação por O.I é eficaz, permitindo a recuperação de nutrientes.

Tabela 4: Rejeição da membrana em cada ensaio realizado. <sup>1</sup> Vazão 3 000L/h e pressão 1 MPa; <sup>2</sup> Vazão 1 000 L/h e pressão 1 MPa; <sup>3</sup> Vazão 1 000 L/h e pressão 2 MPa; <sup>4</sup>Vazão 3 000 L/h e pressão 2 MPa;

REJEIÇÃO DA MEMBRANA PARA CADA CONDIÇÃO EXPERIMENTAL $R = 1 - \frac{C_p}{C_a}$				
Condição experimental	Lactose %	Proteína %	Gordura %	Cinzas %
I <sup>1</sup>	99,31%	97,33%	90,13%	93,50%
II <sup>2</sup>	99,04%	98,39%	77,46%	96,42%
III <sup>3</sup>	99,47%	97,84%	87,33%	87,76%
IV <sup>4</sup>	98,99%	98,50%	93,81%	88,04%

### 3 CONCLUSÃO

A condição que demonstrou um maior fluxo (28,2 Lm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>) foi a C.E. IV, que utilizou maior pressão (2 MPa) e maior vazão de recirculação (3 000 L/h). Segundo os parâmetros analisados: cinzas, lactose, gordura e proteína, e as altas rejeições desses pelo processo de osmose inversa, o mesmo, é recomendado para a separação e recuperação de nutrientes

presentes na água de enxágue de laticínios. E é possível reutilizar esse retido como insumo para a produção de derivados lácteos.

## REFERÊNCIAS

BRIÃO, V. B. et al. Osmose inversa e nanofiltração para a recuperação de sólidos do leite presentes em águas de primeiro enxágue para obtenção de água potável e produção de doce de leite: avaliação técnica e econômica. 2008, 58 p. Proposta de trabalho submetido ao edital MCT/CNPq – Agronegócio/MAPASDC, Passo Fundo, 2008

BRIÃO, V. B. Processos de separação por membranas para reuso de efluentes de laticínios. Tese (Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá, Maringá 2007, p. 130.

BRIÃO, V. B. & TAVARES, C. R. G. Ultrafiltração como processo de tratamento para o reuso de efluentes de laticínios. Nota técnica. 24º Congresso Brasileiro de Eng. Sanit. Ambient. Ano 2007.

COSTA, L. C. Aplicação do Sistema de Projeção de Poluição Industrial (Modelo IPPS): estudo de caso - bacia hidrográfica da Baía de Sepetiba. Dissertação (Mestrado apresentado Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca), Rio de Janeiro, 2010, p. 97.

FERNANDES, J. Zoneamento da pecuária leiteira da região sul do Brasil. Ciência Rural, v.34, n.2, 2004.

L. F. W. BRUM, L. C. O. SANTOS JÚNIOR, S. BENEDETTI. Reaproveitamento de Água de Processo e Resíduos da Indústria de Laticínios. Publicado no 2nd International Workshop-Advances in Cleaner Production. Ano 2009.

SIDNEY, L.M.O. Osmose inversa de água para aplicação na hemodiálise. Dissertação (Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química) – Centro de ciências exatas e tecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, MG 1999, p. 55.