



Reuso de águas evaporadas no processo de produção de leite condensado e leite em pó através da separação por osmose inversa

Vandré Brião¹, Taizi Miorando²

¹Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo-RS, Brasil, vandre@upf.br

² Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo-RS, Brasil, taizi811@hotmail.com

Resumo

O aumento da demanda e da produção das indústrias de laticínios vem provocando um aumento significativo na geração de efluentes. Os processos de produção de laticínios já são conhecidos por um grande consumo de água. No processo de produção de leite condensado e leite em pó é gerada uma grande quantidade de “águas evaporadas”. Essas águas apesar de evaporadas possuem certa carga orgânica e outros compostos em pequenas quantidades, que impedem o reaproveitamento direto. Levando em conta o desenvolvimento sustentável e a escassez da água, surge a idéia de reaproveitar a água evaporada no processo de produção de leite condensado. O objetivo do trabalho é obter uma água de boa qualidade através do processo de filtração com membrana de osmose inversa, avaliando a eficiência da mesma em duas diferentes pressões e duas diferentes temperaturas, e posteriormente, comparar análises físico-químicas com padrões de potabilidade, para um possível reaproveitamento desta água.

Palavras-chave: Osmose Inversa, Águas de evaporação, Efluentes de Laticínios.

Área Temática: Águas Residuais.

Abstract

The increased demand and production of the dairy industry has led to a significant increase in wastewater generation. The production processes of dairy products are already known to a large consumption of water. In the process of production of condensed milk is generated a great deal of "water evaporated." These waters have evaporated despite a certain amount of organic and other compounds in small quantities, preventing the direct reuse. Taking into account sustainable development and water scarcity, the idea of reusing the water evaporated in the production of condensed milk. The objective of this study is to obtain good quality water through the process of membrane filtration reverse osmosis, evaluating the efficiency of the same in two different pressures, and then compare physical-chemical standards for drinking, for possible reuse of water evaporation.

Key words: reverse osmosis, water evaporation, dairy effluent.

Theme Area: Wastewater



1 INTRODUÇÃO

Um dos setores produtivos que acompanhou o crescimento econômico e a demanda por alimentos foi a cadeia leiteira. O setor lácteo encontra-se em ampla expansão no Brasil, sendo que a produção nacional cresceu cerca de 40% na última década, chegando a 29 bilhões de litros de leite em 2010 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011). O Rio Grande do Sul (RS) foi o responsável por 13% da produção nacional no 1º trimestre de 2010, ficando atrás somente de Minas Gerais, segundo o relatório emitido pelo IBGE (2010). Na região do Planalto Médio do RS há três grandes indústrias de laticínios, e somente essas três empresas processam cerca de 30% do volume de leite do Estado, demonstrando a importância da cadeia leiteira para a região.

O Brasil destinou 900.000.000 L de leite *in natura* em 2007 para a produção de leite condensado, segundo a EMBRAPA (2008), e em 2008, o País produziu 535.000 t de leite em pó. Estes valores demonstram o leite condensado e leite em pó são produtos positivos na cadeia leiteira, colaborando para a balança comercial do País.

Para a fabricação do leite em pó e do leite condensado, o leite é levado ao aquecimento para a evaporação da água, gerando grandes volumes desta “água evaporada”. Para cada tonelada de leite condensado produzido, são evaporados cerca de 1700 L de água (variando entre cada processo industrial). Para o leite em pó, gera-se cerca de 6000 L de água evaporada para cada tonelada de leite em pó produzido. A dimensão da produção nacional mostra o volume desta água evaporada, gerando cerca de $3,61 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de efluente. Somente a Laticínios Bom Gosto gerou 1700 m^3 e 12000 m^3 por mês desta água, nas respectivas produções de leite condensado e de leite em pó.

O processo de evaporação, contudo, não remove somente água. Compostos de baixo peso molecular, amins voláteis, ácidos orgânicos, entre outros, são também volatilizados e contaminam a água evaporada. Estes compostos acrescentam carga orgânica na água, de modo que a Demanda Química de Oxigênio (DQO) fique na ordem de 30 mg.L^{-1} e a condutividade próxima de $40 \text{ } \square \text{mhos.cm}^{-1}$. Estes valores são baixos, mas impedem a utilização direta como água de processo necessitando-se da remoção desta carga orgânica residual.

A indústria de laticínios, de um modo geral, tem buscado reutilizar água em sistemas secundários, como reposição de torres de resfriamento, lavagens de pisos externos à indústria, limpeza de caminhões, entre outras. Estas atividades, contudo, não utilizam mais do que 10% da demanda total, que se concentra na limpeza do ambiente de produção e sanitização de máquinas e equipamentos (BRIÃO e TAVARES, 2007). Logo, um sistema de reciclo que produza água com qualidade semelhante à água potável a partir de águas residuais ainda não foi demonstrado como solução técnica e econômica, bem como segura quanto à qualidade. Por outro lado, o setor industrial prefere captar água superficial ou subterrânea, alegando necessidade de “segurança alimentar”.

O reuso surge como uma promissora alternativa para a redução do consumo de águas e diminuir o descarte de efluentes. Além disso, os sistemas visam, muitas vezes, recuperar o efluente final já gerado e tratado, não lidando com os processos de uma ótica atual, visando a redução na fonte conforme os conceitos das tecnologias limpas. Havendo a escassez de água e tarifas sobre o uso da mesma, bem como custos com a disposição de efluentes, o reuso e reciclo de efluentes surge como alternativa para a minimização do lançamento de efluentes, evitando a sobrecarga nos sistemas de tratamento e servindo como uma ferramenta na redução de custos.

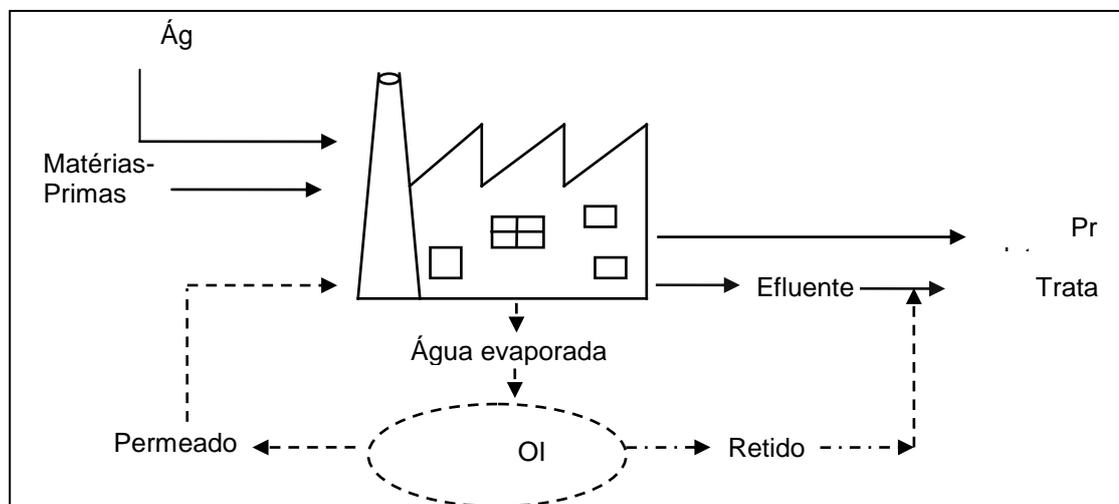
Os processos de separação por membranas se adaptam perfeitamente ao foco de reutilizar a água evaporada gerada na produção de leite condensado e leite em pó. A microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa(OI) podem ser



entendidas como uma extensão da filtração convencional, podendo ser utilizados para separar um solvente (H_2O) dos sólidos de uma solução. A osmose inversa é um processo de separação por membranas que possui pequenos tamanhos de poros, funcionando como um filtro a nível molecular, retendo os constituintes de maior peso molecular (proteínas, gorduras, lactose e até mesmo sais), e permitindo a passagem de água. Esta característica representa uma excelente oportunidade para filtração da água evaporada na produção de leite condensado e leite em pó, possibilitando produzir água com qualidade semelhante à potável, passível de ser reutilizada no processo.

A Figura 1 mostra um exemplo de como a osmose inversa pode ser utilizada como parte integrante do processo produtivo. A água evaporada é condensada e pode ser filtrada no sistema de OI, conferindo ao permeado uma possível qualidade para o reuso.

Figura 1- Inserção da osmose inversa para reuso da água evaporada

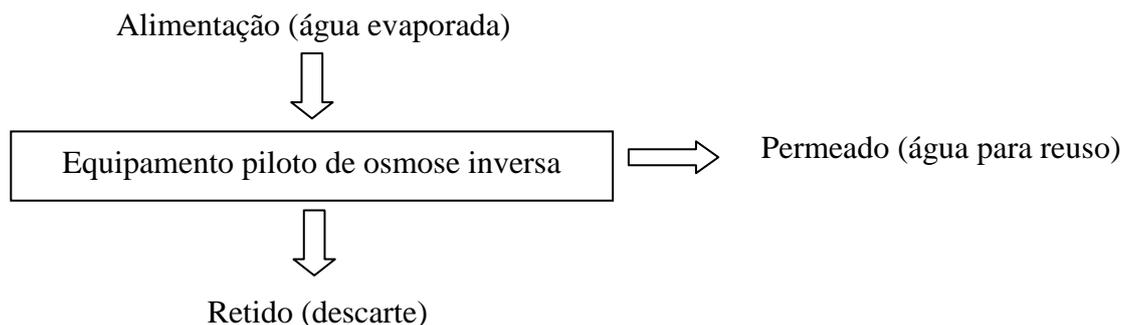


2 METODOLOGIA

A água evaporada no processo de produção do leite condensado e leite em pó foi coletada junto à indústria de laticínios com autorização da mesma, e caracterizada quanto às suas propriedades físico-químicas e microbiológicas.

O trabalho foi realizado conforme o esquema apresentado na Figura 2. A água evaporada foi filtrada em um módulo piloto de osmose inversa, separando as correntes de permeado e de retido sob condições controladas de pressão e temperatura.

Figura 2 - Linhas gerais do procedimento experimental





2.1 Planejamento experimental

As variáveis de resposta avaliadas foram o fluxo de permeado e as concentrações de Demanda Química de Oxigênio, Óleos e Graxas, Cor, Turbidez, Condutividade, Nitrogênio e Sólidos Totais do permeado. Os experimentos foram realizados em duplicatas, totalizando oito ensaios experimentais. Os resultados foram avaliados estatisticamente utilizando-se comparações de médias por análise de variância com significância de 5%.

Tabela 1 - Matriz planejamento experimental 2²

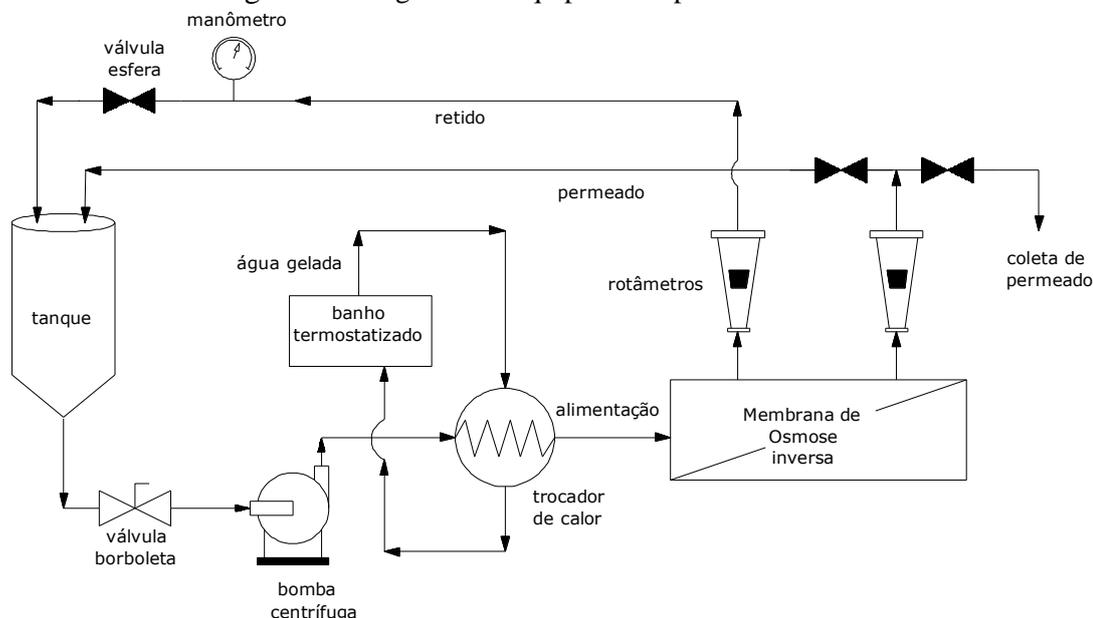
Pressão	Temperatura	Pressão (MPa)	Temperatura (°C)
+1	-1	2,0	30
-1	-1	1,5	30
+1	+1	2,0	40
-1	+1	1,5	40

2.2 Procedimento Operacional

A água evaporada foi alimentada em um tanque, impulsionado por uma bomba centrífuga multiestágios através da carcaça onde é instalada a membrana, separando duas correntes: permeado e retido (ou concentrado). A medida do fluxo do permeado e do retido foi realizada com o auxílio de rotâmetros instalados nas tubulações das respectivas correntes.

A Figura 3 apresenta um diagrama do equipamento

Figura 3 - Diagrama do equipamento piloto de osmose inversa



Cada condição foi realizada em um tempo de 15 min, e ao final eram coletadas amostras de permeado e retido para a sua caracterização físico-química. Ao longo do tempo era registrado o fluxo permeado para a construção das curvas de fluxo.

Foi calculado um coeficiente de rejeição para cada parâmetro avaliado conforme a equação a seguir, que fornece uma medida quantitativa da capacidade da membrana em reter,



por exemplo, as moléculas que conferem cor, sob determinadas condições de operação. Este coeficiente é determinado em termos percentuais.

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

Onde:

C_p : Concentração do permeado

C_o : Concentração do retido

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da água evaporada na produção do leite condensado e leite em pó

A água utilizada nos testes possuía as seguintes características:

Tabela 2 - Caracterização da água evaporada na produção de leite em pó e leite condensado

DQO	Nitrogênio total	Matéria orgânica	Óleos e graxas	pH	Condutividade	Sólidos totais	Turbidez	Cor
40 (mg/L)	1,26 (mg/L)	3,73 (mg/L)	0,60 (mg/L)	7,16	19,44 (µS/cm)	29 (mg/L)	1 (NTU)	1 (Hazen)

A água utilizada apresenta pequena contaminação por alguns dos parâmetros analisados. A DQO, por exemplo, indica presença de matéria orgânica o que torna a água imprópria para uso direto na produção.

A caracterização microbiológica da água evaporada no processo é apresentada na Tabela 3. Observa-se que, devido ao processo de evaporação ser realizado sob aquecimento, não há a presença de nenhum microorganismo na mesma, o que favorece o reuso desta água. Por outro lado, se esta água for armazenada, a presença de matéria orgânica pode favorecer o crescimento microbiológico, sugerindo que a remoção de matéria orgânica é essencial para o reaproveitamento desta.

Tabela 3 - caracterização microbiológica da água evaporada no processo de produção do leite condensado e leite em pó

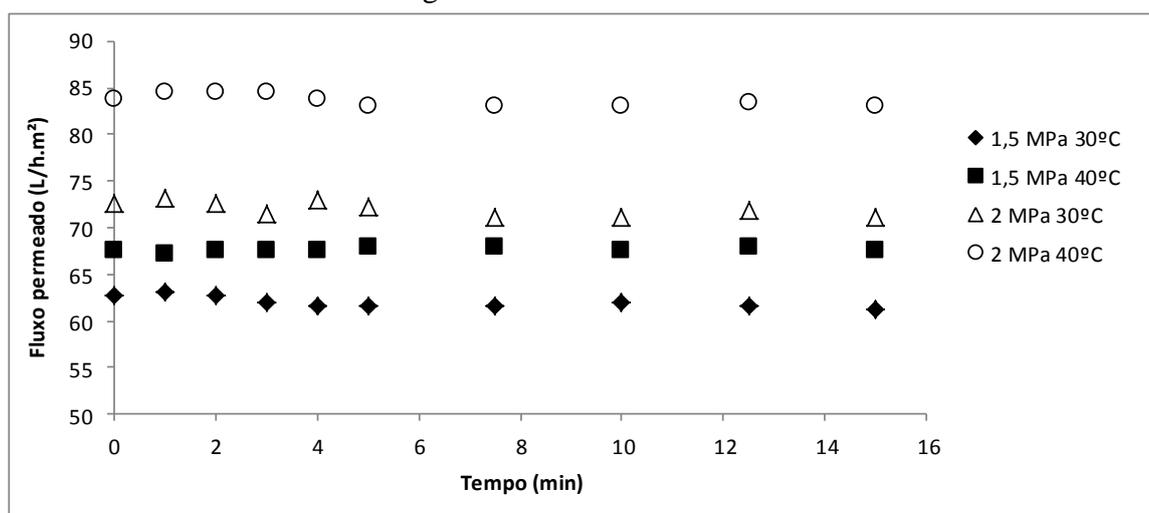
Contagem total de bactérias heterotróficas	Contagem de coliformes totais	Contagem de <i>Escherichia coli</i>
Ausência	Ausência	Ausência
UFC/100 mL	NMP/100 mL	NMP/100 mL

3.2 Fluxo permeado

A Figura 4 permite observar que não ha acúmulo significativo de material na membrana, e as quatro condições experimentais apresentaram fluxo contínuo durante tempo de filtração. Isso pode ser visto com um ponto positivo, pois permite prever o tempo que uma membrana poderá trabalhar sem paradas para limpeza.



Figura 4 – Fluxos obtidos



3.3 Seleção da melhor condição experimental de temperatura e pressão

A Tabela 4 demonstra a média de cada parâmetro de caracterização físico-química do permeado para as condições experimentais avaliadas. A condição experimental desejada é aquela que se obtenha a menor concentração de DQO, nitrogênio total, matéria orgânica, óleos e graxas, condutividade elétrica, sólidos totais, cor e turbidez.

Tabela 4 Médias das variáveis de resposta avaliadas no permeado para cada condição experimental testada no processo de osmose inversa

Pressão	Temperatura	DQO	Nitrogênio total	Matéria orgânica	Óleos e graxas	pH	Condutividade	Sólidos totais	Fluxo permeado
1,5	30	20,0 ^(a)	0,56 ^(a)	1,39 ^(a)	0,30 ^(a)	6,57 ^(a)	3,66 ^(a)	5,5 ^(a)	61,3 ^(a)
2,0	30	19,0 ^(a)	0,24 ^(a,b)	0,86 ^(b)	0,25 ^(a)	6,56 ^(a)	2,36 ^(b)	4,5 ^(a)	71,1 ^(b)
1,5	40	31,5 ^(a)	0,65 ^(b)	1,76 ^(a)	0,25 ^(a)	6,63 ^(a)	3,64 ^(a)	5,0 ^(a)	67,6 ^(a,b)
2,0	40	27,5 ^(a)	0,71 ^(b)	1,50 ^(a)	0,15 ^(a)	6,49 ^(a)	4,18 ^(a)	3,0 ^(a)	83,1 ^(c)
(MPa)	(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	-	(µS/cm)	(mg/L)	(L.h ⁻¹ .m ⁻²)

*índices iguais em uma mesma coluna representam valores estatisticamente iguais

As amostras não apresentaram cor e turbidez.

A Tabela 4 demonstra todas as condições experimentais levaram a valores estatisticamente iguais para os parâmetros DQO, matéria orgânica, óleos e graxas, pH, sólidos totais, turbidez e cor. Ou seja, a filtração a 30°C ou 40°C, bem como o uso de pressões de 1,5 MPa ou 2 MPa não acarretam diferenças na qualidade do permeado.

Por outro lado, a menor concentração de nitrogênio total no permeado foi obtida com a pressão de 2 MPa e 30°C, bem como as concentrações de matéria orgânica e a condutividade elétrica. Não há especificação ou controle da concentração de nitrogênio total ou matéria orgânica para água potável no Brasil, segundo a Portaria 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004). Por outro lado, a União Européia estabelece limites na concentração de nitrogênio e matéria orgânica para água para consumo humano, e por esse motivo, essa condição experimental de 2 MPa e 30°C poderia ser selecionada como a melhor, pois



minimizou a concentração de ambos os parâmetros no permeado obtido, enquadrando a água em padrões de potabilidade europeus.

Quando a água foi filtrada à temperatura de 30°C, a concentração de DQO do permeado oscilou próxima de 20 mg/L. A DQO não é um parâmetro controlado, pois indica demanda de oxigênio por vias químicas e bioquímicas, mas deve ser uma referência inicial para se conhecer a qualidade da água. CHMIEL et al (2000) filtraram vapores condensados oriundos da evaporação de leite em dois estágios de nanofiltração, obtendo valores de DQO abaixo de 10 mg.L⁻¹.

4 CONCLUSÃO

A recuperação das águas evaporadas pelo processo de membrana de osmose inversa pode ser uma saída viável para o reaproveitamento de água dentro das próprias empresas, para o abastecimento, para o processo produtivo e até mesmo para aplicação nas caldeiras dessas indústrias.

As duas condições de pressão testadas apresentaram valores de rejeição satisfatórios, porém à pressão de 20 bar fornece um maior fluxo de permeado, e ao mesmo tempo uma rejeição mais elevada. Entende-se então que uma maior pressão de filtração permite uma água final de melhor qualidade.

As águas evaporadas durante o processo de produção de leite condensado possuem um grande potencial de reaproveitamento, pois todos os parâmetros analisados se estabeleceram dentro dos limites permitidos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Lei Federal nº9433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº518**, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade de água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2004.

BRIÃO, Vandrê Barbosa. **Processos de separação por membranas para reuso de efluentes de laticínios**. Maringá, 2007. (Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá).

BRIÃO, V.B.; TAVARES, C.R.G. Effluent generation by the dairy industry: preventive attitudes and opportunities. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 24, n. 4, p. 487 – 497, 2007.

CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Nota técnica: Tecnologia de controle- indústria de laticínios (NT 17)**. São Paulo, 1990. 30p.



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

DRIOLI, Enrico; ROMANO, Maria. **Progress and new perspectives on integrated membrane operations for sustainable industrial growth.** Industrial Engineering Chemical Research, American Chemical Society, 2001, v. 40, n. 5, p. 1277 – 1300.

H HORTH, A GENDEBIEN, J CASILLAS, A FARMER* AND B CRATHORNE. **Investigation of drinking water quality enforcement procedures in member states of the european union-** June 1998- Institute for European Environmental Policy (IEEP) London
* Institute for European Environmental Policy (IEEP) London.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS). **Censo Agropecuário do Brasil: 2008-2009.** Rio de Janeiro, IBGE, 2010.