

Área: Tecnologia de Alimentos

OSMOSE INVERSA PARA REÚSO DE ÁGUA DA DIAFILTRAÇÃO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CONCENTRADO PROTEICO DE SORO E LACTOSE

**Bruna Seguenka*, Vandr e Barbosa Bri o, Vinicius Castoldi, Creciana Maria Endres,
Vera Maria Rodrigues**

*Laborat rio de Opera es Unit rias, Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia e
Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS*

**E-mail: brunaseguenka@hotmail.com*

RESUMO – A ultrafiltra o (UF)   uma das t cnicas mais utilizadas para recuperar as prote nas sol veis do soro. A nanofiltra o (NF) pode ser utilizada na recupera o da lactose do soro. A diafiltra o (DF), associada a UF, intensifica a remo o de solutos da amostra aumentando o grau de pureza das prote nas e da lactose. Est  associada com alto consumo de l quido diafiltrante, normalmente  gua, com alto teor de pureza. A redu o do consumo de  gua na etapa de diafiltra o   essencial para tornar vi vel o processo de separa o e purifica o das prote nas e lactose do soro. A osmose inversa (OI) t m mostrado um comportamento satisfat rio no tratamento destes fluxos de baixa polui o. O objetivo do trabalho foi aplicar o processo de OI para recuperar as correntes de permeado da DF durante a produ o de concentrado proteico de soro (CPS) e lactose do soro reutilizando essa  gua no processo. As correntes que carregam menor carga org nica na diafiltra o da prote na foram separadas, caracterizadas e tratadas por OI. A  gua de reuso foi utilizada novamente na primeira etapa de DF para produ o do CPS e foram avaliadas as caracter sticas f sico-qu micas do produto final. A aplica o da OI tornou o permeado da DF pass vel de reutiliza o e permitiu a redu o de 41 % do consumo de  gua pura no processo.

Palavras-chave:  gua, Diafiltra o, Reuso de  gua, Separa o por membranas, Sustentabilidade.

1 INTRODU O

Mais de 250.000 t ano⁻¹ de concentrados proteicos de soro, com alta concentra o de prote nas, s o fabricados globalmente (USDEC, 2014). A UF   uma das t cnicas mais utilizadas para recuperar as prote nas sol veis do soro e a NF utilizada na recupera o da lactose (SMITHERS, 2015). A diafiltra o, associada a UF e a NF, intensifica a remo o de solutos da amostra aumentando o grau de pureza dos compostos. Empregada ap s a concentra o, est  associada com alto consumo de l quido diafiltrante, normalmente  gua, com alto teor de pureza. Para alcan ar maiores concentra es de prote na e lactose,   necess rio um volume de  gua igual a 100 % do volume inicial de soro processado em cada etapa de DF. Todo esse volume   removido, gerando grande volume de efluente (BALDASSO et al., 2011). Para a realidade de uma empresa que processe altos volumes de

soro para a produção de CPS e lactose do soro, o alto consumo de água é um obstáculo não apenas econômico, mas também ambiental. A redução do consumo de água na etapa de diafiltração é essencial para tornar viável o processo de separação e purificação da proteína e da lactose.

A osmose inversa tem mostrado um comportamento satisfatório no tratamento destes fluxos de baixa poluição e é uma técnica promissora por ser considerada uma "tecnologia limpa" (SUÁREZ; RIERA, 2015). Suárez et al. (2014) afirmam que a OI é o processo que assegura a maior qualidade da água e essa característica associada as altas taxas de recuperação são vantagens importantes desse processo.

A demanda crescente por água tem feito do reúso planejado um tema atual e de grande importância. O especialista em recursos hídricos da ANA (Agência Nacional de Águas), Cláudio Itaborahy, é enfático ao defender que, a implantação de um programa de conservação e reúso de água pelo setor industrial, reverte-se em benefícios econômicos que permitem aumentar a eficiência produtiva (FISPAL, 2016). No Brasil a prática ainda é bastante insipiente e pouco pesquisada. É necessária implantação de projetos pilotos, cujos resultados irão fornecer dados para o desenvolvimento de normas, diretrizes e padrões adaptados às condições e características brasileiras, quanto à qualidade das águas (ALMEIDA, 2011).

O objetivo do trabalho foi aplicar o processo de OI para recuperar as correntes de permeado da diafiltração durante a produção de CPS e lactose do soro reutilizando essa água no processo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A água de permeado das diafiltrações para a realização deste trabalho, foram coletadas do processo de produção do concentrado proteico de soro e lactose do soro realizados por Seguenka, B. (2016). Os permeados das etapas de diafiltração (DF) que carregavam menor carga orgânica (últimas etapas de diafiltração) foram coletados e tratados por osmose inversa (OI). Foram coletados: da produção do CPS, o permeado da terceira etapa de diafiltração (DF 3) e da produção da lactose concentrada (LC), os permeados da segunda e terceira etapas de diafiltração (DF 2 e 3) misturados.

O experimento foi realizado em um módulo piloto de filtração tangencial da WGM Systems (São Paulo – Brasil). O módulo foi operado com uma membrana de osmose inversa de poliamida, de configuração espiral e área de 1,8 m², Modelo 2538-HRX-VYV da marca KOCH Membrane Systems, aplicando-se uma pressão de 20 bar (BRIÃO et al., 2014). No processo de tratamento por OI, os permeados fluíram, sobre pressão, através da membrana, a qual permitiu a passagem de água purificada (água de reúso). As impurezas e sais ficam retidos pela membrana. A abordagem para aplicação da água de reúso foi realizada no modelo de tratamento *in plant* (BRUM et al., 2009). A água de reúso foi utilizada na primeira etapa de diafiltração (DF 1) para produção do concentrado proteico de soro, seguindo o método proposto por Seguenka, B. (2016). A caracterização química do CPS produzido com a água de reúso foi comparada com a caracterização do CPS produzido utilizando somente água pura nas etapas de diafiltração.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a caracterização do permeado da terceira etapa de DF do processo de produção do CPS (Permeado 1) e a Tabela 2 apresenta a caracterização dos permeados da segunda e da terceira etapa da DF (Permeado 2), ambos antes e depois do processamento por osmose inversa.

Tabela 1 – Caracterização do permeado da diafiltração do concentrado proteico de soro tratado por OI

Parâmetros Avaliados	Permeado 1**	Permeado 1 tratado por OI	Água pura***	Portaria de consolidação nº 5	Diretiva Europeia 98/83/EC (VMP)
pH	6,6±0,007 ^a	6,6±0,05 ^a	6,5±0,04 ^a	6,0-9,5	6,5 a 9,5
Condutividade (µS cm ⁻¹)	97,6±7,91 ^a	8,15±5,64 ^b	26,10±3,39 ^c	-	2500
Cor (Hz)	5±1,41 ^a	1,5±0,7 ^b	1,5±0,7 ^b	15	-
Turbidez (NTU)	6,5±2,12 ^a	0,5±0,7 ^b	0,5±0,7 ^b	5,0	-
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	4,5±3,3 ^a	1,7±0,1 ^a	2,3±1,6 ^a	-	-
Matéria Orgânica (mg L ⁻¹ de O ₂)	0,61±0,11 ^a	0,31±0,009 ^b	0,05±0,02 ^c	-	≤ 5,0
DQO (mg L ⁻¹)	173±26 ^a	26,54±7,89 ^b	10,36±8,16 ^b	-	-
Sódio (mg L ⁻¹)	125±22 ^a	6,37±0,86 ^b	4,78±0,85 ^b	-	-
Potássio (mg L ⁻¹)	36,32±0,70 ^a	2,77±0,01 ^b	2,77±0,005 ^b	-	-
Magnésio (mg L ⁻¹)	43,89±9,34 ^a	1,2±0,24 ^b	2,79±1,93 ^b	-	-
Cálcio (mg L ⁻¹)	159±8,0 ^a	3,15±0,42 ^b	4,72±1,03 ^b	-	-
Fósforo (mg L ⁻¹)	0,2±0,01 ^a	0,2±0,08 ^a	0,05±0,03 ^b	-	-

*Resultados de média ± desvio padrão; letras diferentes em uma mesma linha correspondem à diferença significativa ($p < 0,05$) pelo Teste de Tukey; VMP: valor máximo permitido; **Permeado 1: permeado coletado da terceira etapa de diafiltração aplicada no processo de produção do concentrado proteico de soro por ultrafiltração; ***Água potável tratada por osmose inversa utilizada no processo tradicional de diafiltração.

Tabela 2 - Caracterização do permeado da diafiltração da lactose concentrada tratado por OI

Parâmetros Avaliados	Permeado 2**	Permeado 2 tratado por OI	Água pura***	Portaria de consolidação nº 5	Diretiva Europeia 98/83/EC (VMP)
pH	6,5±0,13 ^a	6,5±0,053 ^a	6,5±0,04 ^a	6,0-9,5	6,5 a 9,5
Condutividade (µS cm ⁻¹)	133,3±5,65 ^a	41,75±9,54 ^b	26,10±3,39 ^c	-	2500
Cor (Hz)	5,5±0,7 ^a	1,5±0,7 ^b	1,5±0,7 ^b	15	-
Turbidez (NTU)	2,5±0,7 ^a	0,5±0,7 ^b	0,5±0,7 ^b	5,0	-
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	6,3±4,4 ^a	2,4±0,08 ^a	2,3±1,6 ^a	-	-
Matéria Orgânica (mg L ⁻¹ de O ₂)	1,24±0,09 ^a	0,37±0,08 ^b	0,05±0,02 ^c	-	≤ 5,0
DQO (mg L ⁻¹)	130±2,87 ^a	80,24±2,33 ^b	10,36±8,16 ^c	-	-
Sódio (mg L ⁻¹)	175±59 ^a	7,27±0,62 ^b	4,78±0,85 ^c	-	-
Potássio (mg L ⁻¹)	127±16 ^a	4,54±1,16 ^b	2,77±0,005 ^c	-	-
Magnésio (mg L ⁻¹)	110±32 ^a	2,06±0,04 ^b	2,79±1,93 ^b	-	-
Cálcio (mg L ⁻¹)	155±7,57 ^a	6,43±0,51 ^b	4,72±1,03 ^c	-	-
Fósforo (mg L ⁻¹)	0,4±0,007 ^a	0,2±0,12 ^b	0,05±0,03 ^b	-	-

*Resultados de média ± desvio padrão; letras diferentes em uma mesma linha correspondem à diferença significativa ($p < 0,05$) pelo Teste de Tukey; VMP: valor máximo permitido; **Permeado 2: permeado coletado da segunda e da terceira etapa de diafiltração (permeados misturados) aplicada no processo de produção da lactose concentrada por nanofiltração; ***Água potável tratada por osmose inversa utilizada no processo tradicional de diafiltração.

Suárez e Riera (2015) sugerem que a água de reúso utilizada na indústria de alimentos, deva possuir qualidade igual ou melhor que a água potável. De fato, a legislação brasileira não prevê ainda parâmetros e normativas para água de reúso, mas se seguirmos as normativas de potabilidade da Portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde. Essa dispõe que para turbidez o valor máximo permitido é de 0,5 NTU (para águas que passaram por tratamento completo ou filtração direta) e para cor um limite máximo permitido de 15 Hz. As águas tratadas e a água pura analisadas (Tabelas 1 e 2) atingiram as condições estipuladas pela legislação.

O processo de OI reduziu 70 % e 73 % de cor, 82 % e 80 % de turbidez e 49 % e 70 % de matéria orgânica, para o permeado 1 e o permeado 2, respectivamente. A legislação brasileira não prevê a matéria

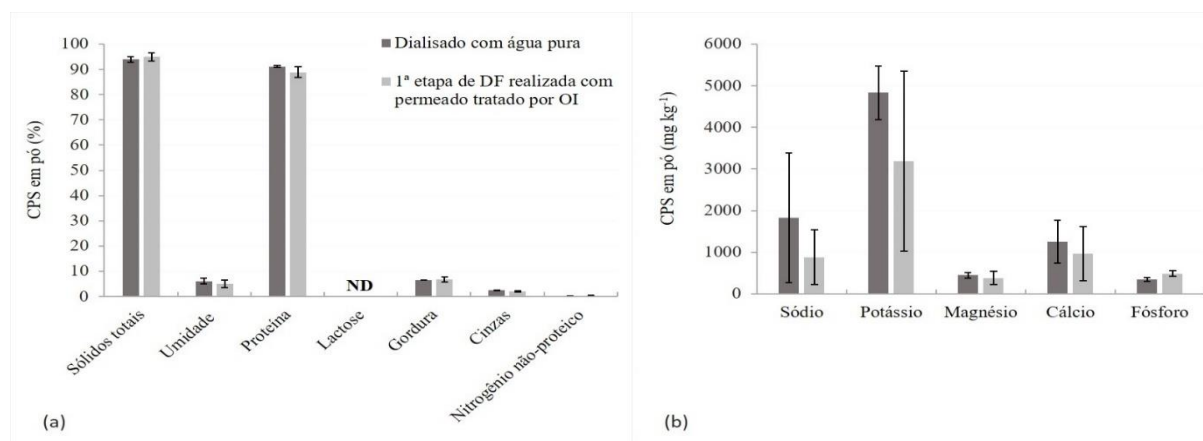
orgânica como parâmetro de controle para água potável, mas a diretriz da União Europeia (EUROPE, 1998) prevê que a matéria orgânica não deve ultrapassar 5 mg L⁻¹ em águas destinadas para abastecimento urbano. Logo, os permeados tratados permaneceriam dentro desses padrões.

Segundo Riera et al. (2013), os valores de condutividade e DQO, são utilizados como propriedades para definir a carga de poluição das águas residuais. A presença de matéria orgânica e a DQO mostram que há resíduos de compostos orgânicos nas águas de diafiltração. No entanto, a OI atinge boas rejeições desses compostos de modo que baixas concentrações desses dois parâmetros foram encontradas nos permeados tratados por OI. Isto mostra que o tratamento proposto tem um forte potencial para a redução do consumo de água na produção integrada do concentrado proteico e lactose a partir do soro de leite. A DQO do permeado 2 tratado por OI foi alto, mas o baixo valor de matéria orgânica apresentado para a mesma amostra, levou-nos a considerar um provável erro analítico para a DQO.

Como esperado, a presença de sódio, potássio, magnésio e cálcio elevam a condutividade dos dois permeados de diafiltração. Do mesmo modo, o tratamento por OI remove esses sais reduzindo a condutividade da água tratada. Para o permeado 1 a redução destes sais foram maiores que 92 % e para o permeado 2 maiores que 96 %. Para Suárez et al. (2014) e Suárez e Riera (2015), de todas as possibilidades de reutilização, os parâmetros mais restritivos são dados pelas especificações da água da caldeira. Para esta, a condutividade (25 °C) deve ser menor que 40 µS cm⁻¹. Pode-se dizer que os permeados tratados estão coerentes com este padrão.

Mesmo apresentando pequenas concentrações de sais, o permeado tratado não interferiu na pureza da proteína quando aplicado na primeira etapa de diafiltração do processo de produção do CPS (Figura 1).

Figura 1 – Comparação entre o CPS produzido pelo método tradicional sugerido (dialisado com água pura) e outro produzido aplicando na primeira etapa de diafiltração o permeado tratado por OI



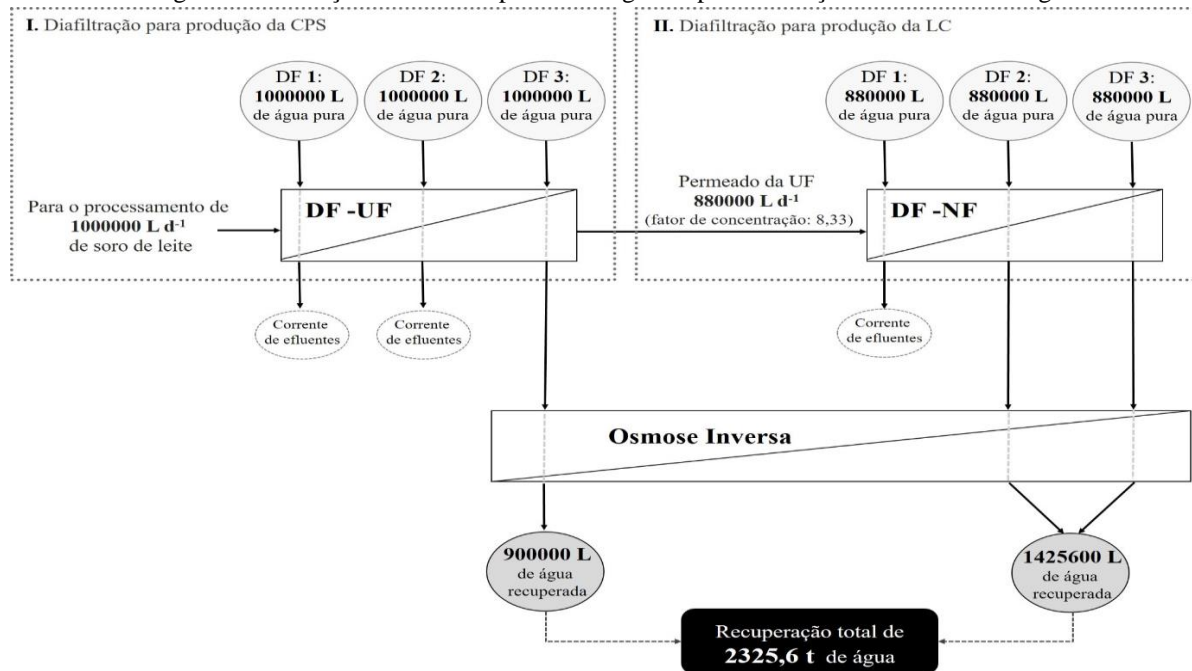
*resultados de média ± desvio padrão; valores em base seca; ND: não detectado; (a): sólidos totais, umidade, proteína, lactose, gordura, cinzas e nitrogênio não-proteico (%); (b): sódio, potássio, magnésio, cálcio e fósforo (mg. kg⁻¹).

A concentração de proteínas no produto final não apresentou diferença significativa quando comparado com o CPS dialisado com a água pura. Os dois CPS apresentaram concentrações de proteínas próximas de 90 % e concentrações de cinzas menores que 2,5 %. A lactose não pode ser identificada nos dois produtos.

A Figura 2 apresenta o balanço de massa para recuperação das águas tratadas em função de uma fábrica que processe 1000000 L de soro por dia, com uma recuperação de 90 % dos permeados das diafiltrações tratados. Destaca-se esse fato pois uma vez que são utilizados 5,64 L de água de diafiltração para cada litro de

soro de leite alimentado ao processo, uma empresa que processa 1000 t de soro por dia consumiria 5640 t de água pura e seria igual o volume de efluente gerado, o que torna o processo inviável na ótica da sustentabilidade.

Figura 1 – Balanço de massa do processo sugerido para a redução do consumo de água



Fonte: próprio autor

Recuperar as correntes que carregam menor carga orgânica pode reduzir significativamente os custos de operação. Seguindo o exemplo apresentado na Figura 2, uma empresa que processe 1000000 L d⁻¹ de soro consegue recuperar 41 % da água utilizada durante as diafiltrações. E essa água recuperada pode ser reutilizada no mesmo processo de diafiltração para produção do CPS sem ocasionar danos a qualidade do produto final como já apresentado na Figura 1. Um *scale-up* foi sugerido por Vourch et al. (2008), ele indica que uma área de 540 m² de membranas de OI permite a recuperação de 100000 L d⁻¹ de águas residuais, com uma recuperação de 95 % e fluxo constante de 11 L m⁻² h⁻¹.

4 CONCLUSÃO

A recuperação dos permeados das diafiltrações por osmose inversa reduz 41 % da água utilizada no processo e torna essa água passível de reutilização, sem alterar as características do produto final. Neste estudo, foi possível demonstrar que, o consumo de água potável na indústria de processamento de soro, onde a finalidade seja a produção de proteínas e lactose com elevado grau de pureza, pode ser drasticamente reduzido pela reutilização da água das diafiltrações.

5 AGRADECIMENTOS

A Universidade de Passo Fundo, a Relat - Laticínios Renner S.A. e a FAPERGS.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. G. **Aspectos legais para a água de reúso**. VÉRTICES: Campos dos Goytacazes/RJ, v. 13, n. 2, p. 31-43, 2011.
- BALDASSO, C.; BARROS, T. C.; TESSARO, I. C. Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. **Desalination**, v. 278, n. 1-3, p. 381-386, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº 5, de 03 de outubro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, 2017.
- BRIÃO, V. B.; MAGOGA, J.; HEMKEMEIER, M.; BRIÃO, E. B.; GIRARDELLI, L.; SBEGHEN, L.; FAVARETTO, D. P. C. Reverse osmosis for Desalination of water from the Guarani Aquifer system to produce drinking water in southern Brazil. **Desalination**, v. 344, p. 402-411, 2014.
- BRUM, L. F. W.; SANTOS JÚNIOR, L. C. O.; BENEDETTI, S. Reaproveitamento de água de processo e resíduos da indústria de laticínios. **2nd International Workshop: Advances in Cleaner Production**, São Paulo: Brazil, May 20th-22nd, 2009.
- EUROPE, Council Directive 98/83/EC, of 03 November 1998. **Official Journal of the European Communities**, Europe: 05 December, 1998.
- FISPAL tecnologia. **Boas práticas de reúso de água na indústria de alimentos e bebidas**. E-book, 2016. Disponível em: <http://www.fispaltecnologia.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/01/EBook01b.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2016.
- LIPNIZKI, F. **Cross-Flow Membrane Applications in the Food Industry**. In: PEINEMANN, K.V.; NUNES, S.P.; GIORNO, L. Membrane Technology, Membranes for Food Applications. Weinheim: Wiley-VCH, v. 3, p. 01-24, 2010.
- RIERA, F. A.; SUÁREZ, A.; MURO, C. Nanofiltration of UHT flash cooler condensates from a dairy factory: Characterisation and water reuse potential. **Desalination**, v. 309, p. 52–63, 2013.
- SEGUENKA, B. **Produção de concentrado proteico e lactose de soro de leite por processos de separação por membranas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo- RS, 2016.
- SMITHERS, G. W. Whey-ing up the options – Yesterday, today and tomorrow. **International Dairy Journal**, v. 48, p. 2-14, 2015.
- SUÁREZ, A.; FIDALGO, T.; RIERA, F. A. Recovery of dairy industry wastewaters by reverse osmosis. Production of boiler water. **Separation and Purification Technology**, v. 133, p. 204–211, 2014.
- SUÁREZ, A.; RIERA, F. A. Production of high-quality water by reverse osmosis of milk dairy condensates. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 21, p. 1340–1349, 2015.
- USDEC. United States Dairy Export Council. **Dairy Ingredients Application Library – WPC & WPI**. Disponível em: <<http://www.usdec.org/Library/DIAL.cfm>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- VOURCH, M.; BALANNEC, B.; CHAUFER, B.; DORANGE, G. Treatment of dairy wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, v. 219, p. 190–202, 2008.