

27 A 29 DE OUTUBRO DE 2020



ON LINE

7º Simpósio de
Segurança Alimentar

Inovação com sustentabilidade

ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE SUCO DE UVA POR OSMOSE DIRETA UTILIZANDO METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

H.M.Tavares¹, I.C.Tessaro², N.S. Cardozo³

1-Departamento de Engenharia Química– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Anexo I - Saúde – CEP: 90035-007 – Porto Alegre – RS – Brasil, Telefone: 55 (51) 3308-5511 – e-mail: (htavares@enq.ufrgs.br)

2- Departamento de Engenharia Química– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Anexo I - Saúde – CEP: 90035-007 – Porto Alegre – RS – Brasil, Telefone: 55 (51) 3308-2145 – e-mail: (isabel@enq.ufrgs.br)

3 - Departamento de Engenharia Química– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química – CEP: 90040-040 – Porto Alegre – RS – Brasil, Telefone: 55 (51) 3308-4075 – e-mail: (nilo@enq.ufrgs.br)

RESUMO – A produção do suco de uva é bastante representativa no estado do Rio Grande do Sul, apresentando crescimento expressivo nos últimos anos. A concentração de alimentos líquidos consiste em uma importante operação unitária na indústria de alimentos que visa redução de volume e maior estabilidade bioquímica do produto. Visando a conservação de aromas e compostos bioativos muitas pesquisas focam em métodos não térmicos. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência de três importantes variáveis de processo na concentração do suco de uva por osmose direta utilizando metodologia de superfície de resposta. Como resposta foram selecionados os fluxos de água e sal sendo as variáveis independentes a concentração do agente osmótico, a rotação da bomba e a temperatura da alimentação. Observou-se que a concentração do agente osmótico apresentou a maior influência no desempenho do processo em relação ao fluxo de água e ao fluxo inverso de sal.

ABSTRACT – The production of grape juice is quite representative in the state of Rio Grande do Sul, showing expressive growth in recent years. The concentration of liquid foods is an important unitary operation in the food industry that aims to reduce volume and increase the biochemical stability of the product. In order to preserve aromas and bioactive compounds, many researches focus on non-thermal methods. In this context, the objective of the present study was to evaluate the influence of three important process variables on the concentration of grape juice by direct osmosis using response surface methodology. As selected responses, water and salt fluxes were evaluated with the independent variables being the concentration of the osmotic agent, the rotation of the pump and the temperature of the feed. It was observed that the concentration of the osmotic agent had the greatest influence on the performance of the process in relation to the water and salt fluxes.

PALAVRAS-CHAVE: suco de uva; osmose direta; superfície de resposta.

KEYWORDS: grape juice; forward osmosis; response surface.

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO



www.officeeventos.com.br



1. INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores de suco de uva do Brasil, sendo que de 2008 a 2018 o volume comercializado da bebida aumentou aproximadamente 128 %, de acordo com um levantamento efetuado em 2019 pelo Instituto Brasileiro do Vinho (IBRAVIN).

A concentração de alimentos líquidos consiste em uma importante operação unitária na indústria de alimentos, sendo responsável por reduções de volume do produto, o que acarreta redução de custos para embalagem e transporte, bem como maior estabilidade bioquímica e microbiológica. De acordo com Handoyo et al. (2019) a concentração térmica, ou seja, por evaporação de alimentos líquidos ainda é a técnica mais utilizada. No entanto, devido à alta sensibilidade de muitos componentes nutricionais ao calor, pode ocorrer degradação destes, principalmente compostos bioativos (Jiao et al., 2004).

A osmose direta (OD) ocorre quando duas soluções de diferentes concentrações (ou um solvente puro e uma solução) estão separadas por uma membrana semipermeável e existe o transporte preferencial do solvente do lado menos concentrado para o lado mais concentrado (MULDER, 1996). A força motriz do processo é a diferença de potencial químico expressa através da diferença de pressão osmótica entre as soluções. Segundo Cath et al. (2006) as principais vantagens da utilização da osmose direta consistem em operação a baixas pressões hidráulicas, alta rejeição de muitos componentes e contaminantes, menor tendência ao *fouling* em relação à processos que utilizam pressão hidráulica. Além disso, quando se trata do processamento de alimentos, a técnica permite operação à temperatura ambiente, facilitando a manutenção da qualidade sensorial do produto.

Durante o processo de osmose direta, água é transportada da solução de alimentação para a solução osmótica, entretanto, é inevitável, devido à diferença de concentração dos dois lados da membrana, que haja um transporte de soluto da solução osmótica para a solução de alimentação, chamado de fluxo inverso de soluto. Em processos osmóticos, a diferença de pressão osmótica efetiva entre os lados da membrana é prejudicada pelo fenômeno de polarização por concentração, associado ao transporte através da membrana.

Um agente osmótico muito utilizado em processos de osmose direta é o cloreto de sódio por ser altamente solúvel em água, não tóxico, de baixo custo e apresentar alta pressão osmótica (Sant'Anna, 2016). Estudos de Petrotos et al. (1998) mostraram que soluções de cloreto de sódio são as mais indicadas para uso em processos de osmose direta devido à sua baixa viscosidade, que influencia diretamente nos fenômenos de transporte que ocorrem. Além disso, o teor de sódio nos alimentos merece certa atenção, uma vez que altas concentrações deste elemento estão associadas a doenças cardiovasculares. Sendo assim, é importante avaliar o transporte de sal durante processos de concentração por osmose direta de alimentos líquidos.

Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar os fluxos de água e de sal durante a concentração do suco de uva em relação à três importantes variáveis de processo: concentração da solução osmótica, temperatura da alimentação e velocidade tangencial do escoamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

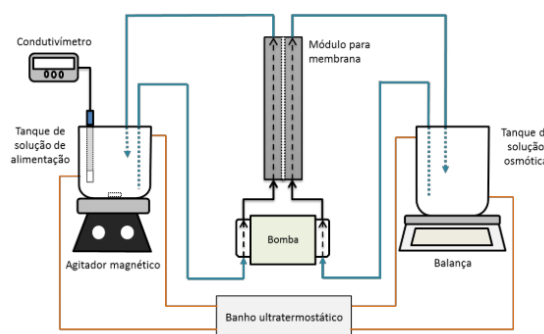
2.1 Matérias Primas e Reagentes

O suco de uva foi adquirido em mercado local e as amostras foram mantidas sob refrigeração e protegidas da luz até o momento dos experimentos e durante os mesmos para evitar degradação de pigmentos. O agente osmótico utilizado foi o cloreto de sódio em diferentes concentrações.

2.2 Sistema de Osmose Direta

Os experimentos de concentração foram realizados durante 5 h em uma unidade de bancada de osmose direta, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1- Representação da unidade de bancada utilizada nos experimentos de concentração



Fonte – Adaptado de Ambrosi (2016)

Foi utilizado um módulo com área útil de membrana de 20 cm². As soluções foram bombeadas utilizando bomba peristáltica com dois cabeçotes *Masterflex L/S*, fornecendo a mesma velocidade de escoamento dos dois lados da membrana, com a camada seletiva orientada para o lado do escoamento da alimentação, evitando efeitos severos da polarização por concentração interna e abrasão da camada suporte pelos componentes do alimento, segundo Sant’Anna et al. (2016). A razão utilizada de alimentação/ agente osmótico foi 1:10 em volume para evitar efeitos de diluição da solução osmótica, que acarretam uma queda na diferença de pressão osmótica e como consequência a diminuição da eficiência do processo.

As temperaturas de cada uma das soluções foram mantidas utilizando – se banho termostático, circulando água fria na camisa do tanque de alimentação e com o uso de uma serpentina na solução osmótica, sendo que esta última foi mantida a 20 °C durante todos os experimentos. Os fluxos de água e sal foram avaliados monitorando – se a condutividade elétrica da solução de alimentação e o ganho de massa da solução osmótica ao longo do tempo. A variação da condutividade elétrica permite calcular o fluxo inverso de soluto, e, através da medida do ganho de massa o fluxo de água é avaliado.

2.3 Planejamento Experimental

Foi utilizado o planejamento Box – Behnken, que consiste em um método baseado em um planejamento fatorial fracionado em três níveis. O número de experimentos é dado pela Equação 1.

$$N = 2k (k - 1) + C_0 \quad (1)$$

Onde N é o número de experimentos, k é o número de variáveis e C₀ é o número de replicatas do ponto central, segundo Montgomery e Runger (2003). Foram avaliados três fatores influentes no processo de osmose direta: temperatura da alimentação, concentração do agente osmótico e rotação da bomba, que reflete diretamente na velocidade de escoamento no canal. Na Tabela 1 estão apresentados os níveis das variáveis analisadas. No ponto central, foram realizadas 4 replicatas, o que gera um total de 16 experimentos.

Tabela 1 – Variáveis independentes e seus valores codificados avaliados no planejamento.

Variável Independente	Símbolo	Valores das Variáveis Codificadas		
		-1	0	1
C (mol/L)	x_1	2,5	4,0	5,5
T (°C)	x_2	15	20	25
Rotação da Bomba (rpm)	x_3	45	50	55

As respostas avaliadas no planejamento foram o fluxo de água (J_w) e o fluxo inverso de soluto (J_s), uma vez que o objetivo principal de um processo de osmose direta é obter o maior fluxo de água possível e uma mínima migração inversa de soluto para a solução de alimentação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fluxos de água e sal em função das variáveis independentes são apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente. Através da análise da superfície de resposta, observa-se que um aumento na concentração da solução osmótica leva a um aumento no fluxo de água e redução no fluxo de sal. O resultado de aumento no fluxo de água corrobora com a investigação feita por Nayak et al. (2010), que observou um aumento do fluxo permeado com o aumento da concentração do agente osmótico durante a concentração de extrato de antocianinas. Além disso, observa-se um efeito quadrático na concentração, conforme descrito na literatura (Hancock 2009; Cath, 2006; Seppälä et al., 2004). Tal efeito se deve ao aumento da força motriz do processo, a diferença de pressão osmótica entre os lados da membrana e sua não linearidade pode ser atribuída ao fenômeno de polarização por concentração interna dilutiva, que causa uma diluição da solução osmótica que permeia pela estrutura do suporte, causando uma redução da força motriz efetiva. O aumento da temperatura da alimentação também promoveu um aumento no fluxo de água, embora menos pronunciado devido à mudança de propriedades físicas como viscosidade, difusividade mássica e massa específica. O aumento na velocidade promovido pela maior rotação na bomba eleva o fluxo de água devido à rápida mistura promovida nas camadas limite de polarização, causando diluição no lado da alimentação e aumento da força motriz efetiva. A rotação utilizada no experimento do ponto central foi a que mostrou melhores resultados em relação ao fluxo de água.

Figura 2 – Superfícies de resposta apresentando os efeitos das variáveis no fluxo de água (a variável que não é mostrada nos eixos teve seu valor fixado no ponto central).

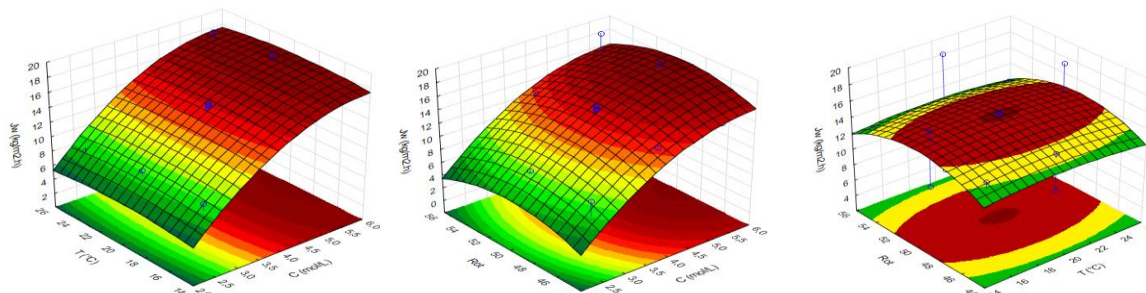
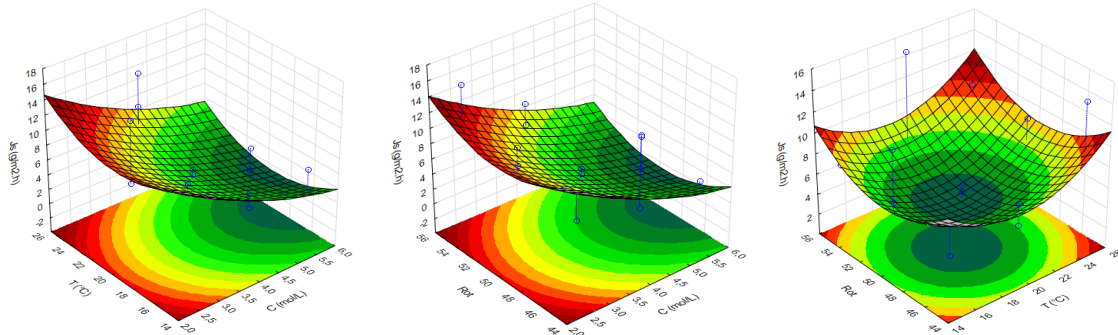


Figura 3 – Superfícies de resposta apresentando os efeitos das variáveis no fluxo de sal (a variável que não é mostrada nos eixos teve seu valor fixado no ponto central).



Em relação ao fluxo inverso de soluto, Phillip et al. (2010) através da modelagem e experimentos mostraram que usando água deionizada como solução de alimentação o fluxo permeado e o fluxo inverso de soluto aumentaram devido à diferença de concentração entre os lados da membrana. Entretanto, esse comportamento não foi observado durante a concentração do suco de uva, possivelmente devido à maior complexidade da solução de alimentação que pode ter sido responsável por uma redução na força motriz para o transporte inverso de sal.

O efeito observado da temperatura e da velocidade mostrou que existe um ponto onde o fluxo de soluto pode ser minimizado. Tal ponto ocorre em maiores rotações e menores temperaturas, sendo que a região de menor fluxo de sal ocorre próxima ao ponto central. O efeito da velocidade do escoamento no fluxo inverso de soluto pode ser explicado pela rápida mistura na camada limite no lado da solução osmótica, que pode ser responsável por minimizar o efeito de diluição causado pelo fluxo de água, mantendo elevado o gradiente de concentração. Sendo assim, um aumento da velocidade do escoamento resultou em um aumento do fluxo inverso de soluto. Por outro lado, velocidades abaixo daquela utilizada no ponto central também causaram leve aumento no fluxo de sal, levando a crer que o fluxo de sal tem seu valor mínimo nas condições de rotação do ponto central.

A temperatura da solução de alimentação apresentou pouca influência no fluxo inverso de soluto na faixa estudada. Observa-se a ocorrência de um ponto de minimização do fluxo de sal próximo a 20 °C, pois quando se empregam outras temperaturas os perfis de concentração e as características do escoamento são afetados pela transferência de calor entre os dois lados da membrana (You et al., 2012).

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que a variável que exerce maior influência nos fluxos de água e de sal através da membrana é a concentração da solução osmótica, possuindo efeito quadrático pronunciado. Temperatura e velocidade tangencial afetam o comportamento das camadas limite e a transferência de massa através da membrana. Dessa forma, os resultados sugerem que existe um ponto de possível otimização do processo em relação às variáveis estudadas localizado próximo ao ponto central.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrosi, Alan. Desalcoolização de cerveja: avaliação da remoção de etanol de soluções aquosas por osmose direta. 2016.

Cath, T. Y., Childress, A. E., & Elimelech, M. (2006). Forward osmosis : Principles, applications, and recent developments. 281, 70–87.

Hancock, N. T.; CATH, T. Y. Solute coupled diffusion in osmotically driven membrane processes. *Environmental science & technology*, v. 43, n. 17, p. 6769–75, 2009b.

Handojo, L. A., Khoiruddin, K., Wardani, A. K., Hakim, A. N., & Wenten, I. G. (2019). Advancement in Forward Osmosis (FO) Membrane for Concentration of Liquid Foods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 547.

Jiao, B., Cassano, A., & Drioli, E. (2004). Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: A review. *Journal of Food Engineering*, 63, 303–324.

Montgomery, D.C.; Runger, G.C. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

Nayak, Chetan A.; Rastogi, Navin K. Forward osmosis for the concentration of anthocyanin from *Garcinia indica* Choisy. *Separation and Purification Technology*, v. 71, n. 2, p. 144-151, 2010.

Petrotos, Konstantinos B.; Quantick, Peter; Petropakis, Heracles. A study of the direct osmotic concentration of tomato juice in tubular membrane–module configuration. I. The effect of certain basic process parameters on the process performance. *Journal of Membrane Science*, v. 150, n. 1, p. 99-110, 1998.

Phillip, William A.; Yong, Jui Shan; Elimelech, Menachem. Reverse draw solute permeation in forward osmosis: modeling and experiments. *Environmental science & technology*, v. 44, n. 13, p. 5170-5176, 2010.

Sant'Anna, V.; Marczak, L.D.F.; Tessaro, I.C. (2012) Concentration of liquid foods by forward osmosis: Process and quality view. *Journal of Food Engineering*, 111: 483–489.

Sant'Anna, V., Gurak, P. D., Vargas, N. S. D., da Silva, M. K., Marczak, L. D. F., & Tessaro, I. C. (2016). Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) juice concentration by forward osmosis. *Separation Science and Technology*, 51(10), 1708-1715.

Sappälä, Ari; Lampinen, Markku J. On the non-linearity of osmotic flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, v. 28, n. 4, p. 283-296, 2004.

You, S. J., Wang, X. H., Zhong, M., Zhong, Y. J., Yu, C., & Ren, N. Q. (2012). Temperature as a factor affecting transmembrane water flux in forward osmosis: Steady-state modeling and experimental validation. *Chemical Engineering Journal*, 198, 52-60.