

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE ULTRAFILTRAÇÃO DE SUCO DE BANANA¹

Simone Loureiro Campos RODRIGUES², Rebeca Leite de Souza MOREIRA²,

Marisa Helena CARDOSO², Fábio MERÇON^{3,*}

RESUMO

A técnica de ultrafiltração foi empregada no processamento de suco de banana (*Musa sapientum, shum.*) visando sua clarificação e remoção da polifenoloxidase. O módulo consistiu de uma célula plana, com escoamento transversal e 14,6cm² de área de membrana. Em função do peso molecular da enzima foram utilizadas duas membranas poliméricas de poli(éter-sulfona) com pesos moleculares de corte de 10 e 30kDa. O suco clarificado apresentou coloração amarela, elevada translucidez e aspecto atrativo. A membrana com peso molecular de corte de 30kDa apresentou um fluxo permeado superior ao da membrana de 10kDa. A atividade da enzima polifenoloxidase foi reduzida em 97,5 e 96,2% para as membranas de peso molecular de corte de 10 e 30kDa, respectivamente. O emprego de uma etapa de limpeza com solução cloro-alcalina permitiu a recuperação do fluxo permeado inicial, sendo um indicativo da possibilidade de reutilização da membrana.

Palavras-chave: suco de banana; polifenoloxidase; ultrafiltração.

SUMMARY

PARAMETERS EVALUATION IN BANANA JUICE ULTRAFILTRATION. Ultrafiltration was used to process banana juice (*Musa sapientum, shum.*) to promote its clarification and polyphenoloxidase removal. The module consisted in a flat plate unit, with transversal flow and 14,6cm² membrane area. Due enzyme molecular weight two poly(ether-sulfone) membranes were employed, with different molecular weight cut off of 10 and 30kDa. Clarified juice showed yellow color, high translucidity and attractive aspect. The 30kDa cut off membrane showed a higher permeated flux than 10kDa membrane. Polyphenoloxidase activity was reduced in 97,5 and 96,2% for 10 and 30kDa membranes, respectively. A chloro-alkaline cleaning promoted permeated flux recuperation and membrane reuse.

Keywords: banana juice; polyphenoloxidase; ultrafiltration.

1 - INTRODUÇÃO

Uma membrana pode ser definida como uma barreira seletiva, sólida ou líquida, que separa duas fases e restringe o transporte de uma ou várias espécies químicas de maneira específica. Esse transporte tanto pode ocorrer por difusão ou convecção e é induzido por um gradiente de potencial químico (pressão, concentração e temperatura) ou potencial elétrico [11]. Em função do transporte e da força-motriz, têm-se diferentes processos de separação com membranas, dos quais podem-se destacar: microfiltração, ultrafiltração, osmose inversa, diálise, eletrodialise, pervaporação e separação de gases.

Desde as últimas décadas, esses processos vêm sendo empregados em diferentes áreas industriais, proporcionando as seguintes vantagens: baixo consumo energético, não requerem aditivos químicos, são sistemas compactos e de fácil "scale-up", apresentam a possibilidade de emprego em sistemas contínuos e podem ser combinados com outros processos de separação. São exemplos de aplicações já estabelecidas a separação de proteínas, a clarificação de líquidos, a concentração de produtos e a esterilização a frio [9].

Ao analisar o emprego dos processos com membranas na indústria de alimentos, CABRAL [3] destacou

¹ Recebido para publicação em 21/05/2002. Aceito para publicação em 11/07/2003 (000829).

² Universidade Estácio de Sá - Curso de Engenharia de Alimentos. Rua do Bispo n. 83. CEP 20261-060. Rio de Janeiro, RJ.

³ UERJ - Dept. de Tecnologia dos Processos Bioquímicos, Instituto de Química. R. São Francisco Xavier, n. 524, Pavilhão Haroldo Lisboa, Sala 306. CEP 20550-013, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: mercon@cruiser.com.br

* A quem a correspondência deve ser enviada.

seu uso na produção de sucos de frutas, onde essas técnicas possibilitam a esterilização, clarificação e concentração do suco, além da recuperação de substâncias voláteis. Dessas aplicações, destaca-se a clarificação de sucos por ultrafiltração, que permite a remoção de celulose, hemicelulose e pectinas.

A ultrafiltração é um processo semelhante à filtração tradicional. Devido à diferença de pressão aplicada, as moléculas de solventes e solutos de menor tamanho permeiam através dos poros da membrana, enquanto outras moléculas ou partículas de maior tamanho são retidas. O diâmetro dos poros destas membranas encontra-se na faixa entre 0,05µm e 1nm. Geralmente, a ultrafiltração é empregada para a separação de macromoléculas com peso molecular superior a 1kDa. A maioria das membranas comerciais de ultrafiltração é constituída de materiais poliméricos, como por exemplo: polisulfona, poli(éter-sulfona), derivados de celulose e poli(éter-imida) e poliacrilonitrila.

Em estudo com sucos de laranja, repolho, pepino e rabanete, foi observado que os sucos ultrafiltrados apresentaram maior transparência e redução no sabor amargo [13]. Este mesmo processo aplicado ao suco de kiwi também levou à formação de um produto transparente, mantendo os níveis iniciais de vitamina C, acidez e açúcares totais [12]. GEKAS, BARALLA, FLORES [7] apontaram a ocorrência de plantas industriais para processamento de suco de frutas nos Estados Unidos e alguns países europeus. Com capacidade entre 3 e 60m³ de suco clarificado por hora, estas unidades geram um fluxo permeado médio de 40L/h.m², sob pressões da ordem de 4,4 bar. Dados de 2000, indicam que o mercado de suco

de frutas movimentada US\$ 5,0 bilhões por ano [8].

O Brasil é o maior produtor mundial de banana, com uma produção anual entre 5 e 7 milhões de toneladas [1]. Sendo um fruto perecível, uma das formas de se aproveitar o excedente da produção está na sua conversão em outros produtos, como sucos, gelatinas, sorvetes e bebidas energéticas. Entretanto, um dos inconvenientes do processamento da banana é o escurecimento enzimático. Este fenômeno é iniciado pela ação da enzima polifenoloxidase presente nas células das frutas e de alguns outros vegetais. O rompimento das células, em presença do oxigênio, faz com que esta enzima catalise a oxidação de fenóis em quinonas. Estas por sua vez se condensam formando melaninas, pigmentos escuros e insolúveis, que promovem mudanças indesejáveis nas propriedades sensoriais do produto, diminuindo sua vida-útil e o valor de mercado.

Os principais métodos empregados para evitar o escurecimento enzimático são: a inativação da enzima através da redução do pH ou aquecimento, a eliminação do oxigênio e o emprego de agentes químicos que atuam sobre a enzima ou produtos intermediários do processo de formação do pigmento. Porém, estes procedimentos, geralmente, implicam em alterações nas propriedades sensoriais do produto. Uma alternativa a estes processos é o emprego da ultrafiltração. Por ser conduzida sob temperatura ambiente e não necessitar de aditivos químicos, esta técnica preserva a qualidade do produto final, não afetando suas propriedades sensoriais, livrando o suco do sabor de cozido e preservando componentes termossensíveis, tais como vitaminas e enzimas.

No presente trabalho buscou-se avaliar o emprego da ultrafiltração na redução da atividade da polifenoloxidase em suco de banana. Como o peso molecular médio desta enzima encontra-se na faixa entre 57 a 62kDa [2], foram testadas duas membranas com pesos moleculares de corte (*cut off*) de 10 e 30kDa.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Material

Como matéria-prima, foi utilizada a banana prata (*Musa sapientum*, *shum.*), adquirida no comércio local e apresentando coloração totalmente amarela com manchas escuras com grau de maturação conhecido como ponto 6 [6]. As membranas de ultrafiltração, constituídas de poli(éter-sulfona), foram fabricadas por Filtron Technology Corporation (EUA). Foram empregados dois tipos diferentes de membranas, com pesos moleculares de corte (*cut off*) de 10 e 30kDa. O módulo de ultrafiltração consistiu de uma célula plana com escoamento transversal e 14,6cm² de área útil.

2.2 – Métodos

2.2.1 – Preparo e hidrólise do suco de banana

Nesta etapa empregou-se o método descrito por CARDOSO et al. [5]. Inicialmente, 10kg do fruto foram

submetidos às etapas de sanitização com solução aquosa a base de cloro (100ppm) por 10 min, descascamento e esmagamento manual, obtendo-se assim o purê de banana. A seguir, o purê foi hidrolisado (40°C por 15 min) por um preparado enzimático comercial (Clarex) de pectinase de origem fúngica (*Aspergillus niger*) na proporção de 0,03% (v/m). Por fim, visando a remoção de sólidos particulados, a mistura foi centrifugada (4.000rpm por 20 min), proporcionando aproximadamente 2L de suco centrifugado.

2.2.2 – Compactação e caracterização das membranas

Antes da ultrafiltração do suco de banana, realizou-se a compactação da membrana, através da recirculação de água deionizada com pressão de entrada de 3,5atm e vazão de alimentação de 40L/h. A compactação foi utilizada para que as membranas de ultrafiltração tivessem sua estrutura mecânica adaptada à pressão de operação do sistema. Em seguida foi determinada a permeabilidade hidráulica da membrana, através da medição do fluxo permeado de água deionizada para diferentes pressões de entrada. A permeabilidade hidráulica correspondeu ao coeficiente angular da equação da reta obtida no gráfico do fluxo permeado em função da pressão de operação.

2.2.3 – Ultrafiltração do suco de banana

O sistema de ultrafiltração utilizado foi constituído de bomba de engrenagem, módulo de ultrafiltração, rotâmetro, manômetros e tanques de armazenamento da alimentação e do permeado, conforme esquematizado na *Figura 1*. Inicialmente, 2,0L de suco centrifugado foram colocados no tanque alimentação e, com o auxílio da bomba, iniciou-se seu escoamento através do sistema. Ao alcançar o módulo, onde está localizada a membrana, o suco foi separado em duas correntes distintas: permeado e concentrado. O permeado foi recolhido no tanque próprio, enquanto que o concentrado foi recirculado no sistema. O tempo de operação foi de 180 min, nas seguintes condições: pressão de entrada de 3atm e vazão de alimentação de 40L/h. O fluxo permeado (L/h.m²) foi medido, com auxílio de cronômetro, em intervalos de 15 min. A partir destas medidas, construíram-se curvas de fluxo permeado em função do tempo de operação do sistema.

2.2.4 – Limpeza do sistema e recuperação da membrana

Após a ultrafiltração do suco, realizou-se a limpeza do sistema através da recirculação de solução cloro-alcálica, solução aquosa de NaOH (pH 10) e 0,8 % de NaClO, por 2h. Além da limpeza do sistema, este procedimento também visou a recuperação e posterior reutilização da membrana.

2.2.5 – Atividade da enzima polifenoloxidase

A atividade enzimática da polifenoloxidase no suco de banana foi determinada através do espectrofotomé-

trico modificado de CANO et al. [4], utilizando-se catecol como substrato, sob pH 4,5 e 20°C. A absorbância do meio reacional foi determinada em espectrofotômetro (Femto modelo 482) no comprimento de onda de 420nm.

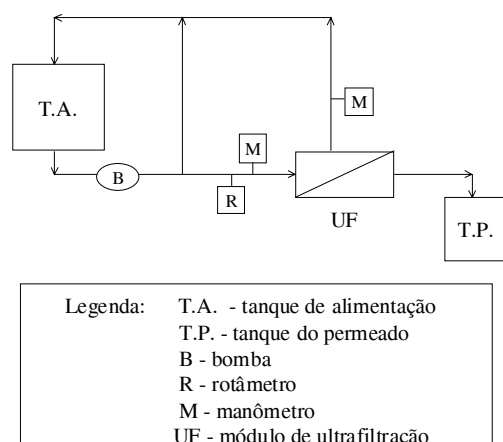


FIGURA 1. Esquema do sistema de ultrafiltração

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Compactação e caracterização das membranas

Para ambos os tipos de membrana, o tempo de compactação foi de 70 min, que consistiu no tempo necessário para se atingir um fluxo permeado constante. Após a compactação, determinou-se a permeabilidade hidráulica das membranas. As membranas com peso molecular de corte de 10 e 30kDa apresentaram permeabilidade hidráulica de 51,5 e 173,2L/m².h.atm, respectivamente. Este resultado pode ser associado a sua estrutura de poros de ambas as membranas. Por apresentar uma rejeição de solutos com maior peso molecular, a membrana de 30kDa, provavelmente, apresenta uma distribuição de tamanhos de poros maiores, o que contribuiu para um maior fluxo de água.

3.2 - Ultrafiltração do suco de banana com a membrana de 10kDa

Após a caracterização com água deionizada, desenvolveram-se os testes de ultrafiltração do suco de banana. Em um primeiro grupo de experimentos, empregou-se a membrana de peso molecular de corte de 10kDa e as seguintes condições de operação: pressão de entrada de 3atm e vazão da corrente de alimentação de 40L/h.

No gráfico da Figura 2 são apresentados os perfis de comportamento de fluxo permeado em função do tempo de operação para três experimentos com diferentes membranas. Como se pode verificar, as curvas apresentaram características semelhantes, o que foi um indicativo da reprodutibilidade do processo. Em todos os experimentos, constatou-se que, após 180 min de operação, foi alcançado um fluxo permeado de aproximadamente 40L/h.m².

Nestes experimentos, observou-se que o fluxo de permeado diminuiu em função do tempo de operação

do sistema. Esta redução de fluxo decorreu do acúmulo de componentes do suco próximo à superfície da membrana e conseqüente formação de incrustações. Este fenômeno, denominado "fouling", gerou uma resistência adicional para o escoamento da corrente de permeado.

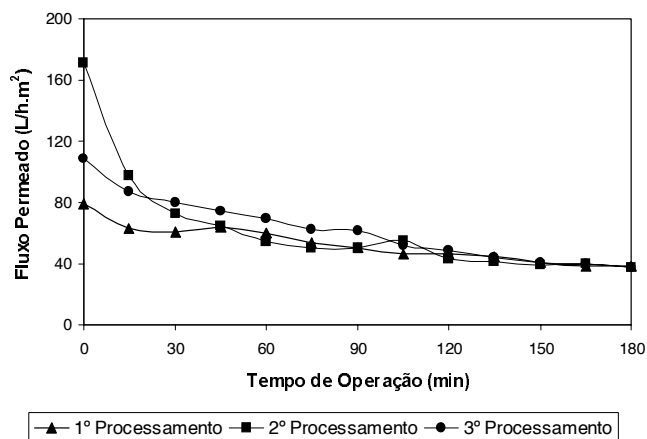


FIGURA 2. Comportamento do fluxo permeado em função do tempo para três processamentos distintos com membrana de 10kDa

3.3 - Ultrafiltração do suco de banana com a membrana de 30kDa

Um segundo grupo de experimentos de ultrafiltração de suco de banana empregou a membrana com peso molecular de corte de 30kDa. Diante da queda de fluxo permeado decorrente do *fouling*, nestes experimentos buscou-se avaliar a possibilidade de recuperação do fluxo inicial através da limpeza da membrana. Empregou-se uma única amostra de membrana com peso molecular de corte de 30kDa e as seguintes condições de operação: pressão de entrada de 3atm e vazão da corrente de alimentação de 40L/h. Após 180 min de ultrafiltração, realizou-se a limpeza do sistema com solução cloro-alkalina e a membrana foi novamente utilizada na ultrafiltração de nova amostra de suco. O mesmo procedimento de limpeza e reutilização foi repetido em um terceiro processamento de suco. Os resultados dos três processamentos encontram-se representados no gráfico da Figura 3, que relaciona o fluxo permeado em função do tempo de ultrafiltração.

Pela observação das curvas obtidas, verificou-se que o procedimento de limpeza proporcionou a recuperação das características de fluxo permeado através da membrana. Tomando-se como referência o tempo de operação de 180 min, constatou-se que no primeiro processamento o fluxo foi de 60L/h.m². Por sua vez, após cada etapa de limpeza, o valor obtido para este mesmo tempo foi em média 40L/h.m², o que representou uma recuperação de aproximadamente 75 % do fluxo permeado. Este resultado demonstrou que o "fouling" foi um fenômeno reversível e através do procedimento de limpeza da membrana, pode-se restabelecer a corrente de permeado e aumentar a vida-útil da membrana.

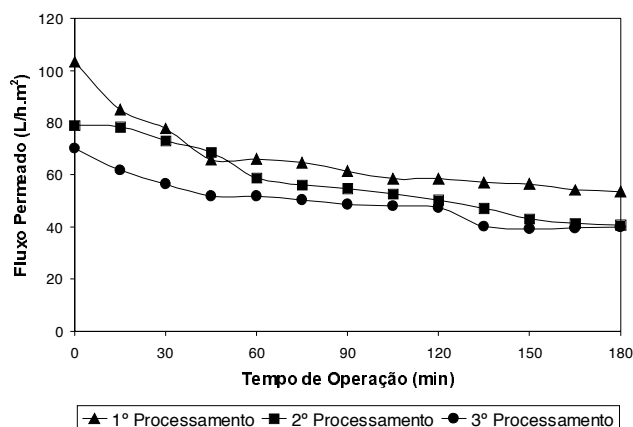


FIGURA 3. Comportamento do fluxo permeado em função do tempo para três processamentos em seqüência com a membrana de 30kDa

3.4 – Redução da atividade da enzima polifenoloxidase

No estudo desenvolvido, verificou-se que ambas as membranas utilizadas proporcionaram sucos clarificados semelhantes, com cor amarelo claro, elevada translucidez e aspecto bastante atrativo. Tendo em vista evitar o escurecimento enzimático deste suco, avaliou-se a capacidade de remoção desta enzima. Com esta finalidade, usou-se como parâmetro comparativo a redução da atividade enzimática da polifenoloxidase do suco ultrafiltrado em relação ao centrifugado [10].

Na Tabela 1 é apresentada uma comparação entre os resultados de fluxo permeado e retenção de polifenoloxidase para os dois tipos de membrana utilizados. Ao se analisar os valores de fluxo, tomou-se como parâmetro o fluxo após 180 min de operação. Verificou-se que a membrana de 30kDa proporcionou um fluxo permeado mais alto, decorrente de sua distribuição de tamanhos de poros maiores.

TABELA 1. Resultados de fluxo permeado e de redução da atividade da polifenoloxidase para os dois tipos de membranas utilizadas

Peso molecular de corte da membrana (kDa)	Fluxo permeado após 180 min de operação (L/h.m ²)	Redução da atividade da polifenoloxidase (%)
10	40	97,5
30	60	96,2

Ao se avaliar a capacidade de remoção da polifenoloxidase, verificou-se que a atividade desta enzima foi reduzida em 97,5 e 96,2% para as membranas com peso molecular de corte de 10 e 30kDa, respectivamente. Estes valores foram obtidos a partir da média entre os valores de redução de atividade enzimática dos três experimentos realizados com cada membrana utilizada. A maior redução de atividade observada pela membrana de 10kDa decorreu de seu menor peso molecular de corte.

4 – CONCLUSÕES

- A ultrafiltração demonstrou ser uma técnica adequada ao processamento do suco de banana, proporcio-

nando um produto clarificado, com coloração amarelo-claro, elevada translucidez e aspecto atrativo.

- As membranas comerciais de poli(éter-sulfona) com peso molecular de corte de 30kDa apresentou um fluxo permeado superior ao da membrana de 10kDa.
- O emprego de uma etapa de limpeza com solução cloro-alcálica permitiu a recuperação do fluxo permeado inicial, sendo um indicativo da possibilidade de reutilização da membrana.
- A atividade da enzima polifenoloxidase foi reduzida em 97,5 e 96,2% para as membranas peso molecular de corte de 10 e 30kDa, respectivamente.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E.J. **A Cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômico e agroindustriais.** Brasília, EMBRAPA, p. 545-564, 1997.
- ARAÚJO, J. M. **A Química de Alimentos.** 2. ed. Viçosa, UFV, 1999.
- CABRAL, L.M.C. Aplicação da Tecnologia de Membranas na Indústria de Alimentos. **Engenharia de Alimentos**, n. 17, p. 27-30, 1998.
- CANO, P.; MARIN, M.A.; FÜSTER, C. Effects of some thermal treatments on polyphenol oxidase and peroxidase activities of banana. **Journal of Science and Food Agriculture**, v. 51, p. 223-231, 1990.
- CARDOSO M.H.; JACKIX M. N.H.; MENEZES H.C.; GONSALVES E.B.; MARQUES S.V.B. Efeito da associação de pectinase, invertase e glicose isomerase na qualidade do suco de banana. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 18, n. 3, p. 275-282, 1998.
- DE MARTIN, Z; TRAVAGLINI, D.A; OKADA, M; QUAST, D.G e HASHIZUMT, T. **Processamento: produtos, caracterização e utilização. Série Frutas Tropicais nº 3 - Banana.** Campinas, ITAL, 1990.
- GEKAS, V; BARALLA, G; FLORES, V. Aplicaciones de la tecnología de membrana en la industria alimentaria. **Food and Technology International**, p. 311-328, 1998.
- MATA, V.M.; CABRAL, C.L.; MORETTI, R.M. Clarification of acerola juice by enzymatic treatment and microfiltration. **Alimentaria**, p. 127-130, 2000.
- MERÇON, F.; SANT'ANNA JÚNIOR, G.L.; NOBREGA, R. Enzymatic Hydrolysis of Babassu Oil in a Membrane Bioreactor. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 77, n. 10, p. 1043-1048, 2000.
- MOREIRA, R.L.S.; RODRIGUES, S.L.C.; MERÇON, F.; CARDOSO, M.H. Efeito da Ultrafiltração sobre a Atividade Enzimática de Polifenoloxidase em Suco de Banana (*Musa sapientum, shum.*). Livro de Resumos do 4º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, p. 203-204, Campinas, SP, 12-15 de novembro de 2001.
- MULDER, M. **Basic Principles of Membrane Technology.** Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1991.
- SHI, J.L; LI, Y.R; CHENG, J.F. Application of ultrafiltration to clarification of kiwifruit juice. **Science and Technology of Food Industry**, v. 20, n. 1, p. 20-22, 1999.
- ZENG, F.K; HU, Y.F; WU, Y.X. Effects of ultrafiltration on the quality of fruit and vegetables juices. **Food & Fermentation Industries**, v. 25, n. 2, p. 31-34, 1999.