



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá

Brasil

Cardoso de Oliveira, Ricardo; Davantel de Barros, Sueli Teresa; Luiz Gimenes, Marcelino; Foggiao
Alvim, Francisco Augusto; Winter, Camila

Comparação entre centrifugação e microfiltração na clarificação do suco tropical de maracujá

Acta Scientiarum. Technology, vol. 32, núm. 3, 2010, pp. 271-278

Universidade Estadual de Maringá

Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226528011>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Comparação entre centrifugação e microfiltração na clarificação do suco tropical de maracujá

Ricardo Cardoso de Oliveira*, Sueli Teresa Davantel de Barros, Marcelino Luiz Gimenes, Francisco Augusto Foggiato Alvim e Camila Winter

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: oliveira.rc@hotmail.com

RESUMO. No sentido de desenvolver uma alternativa ao processo convencional de centrifugação realizou-se neste trabalho um estudo da microfiltração para clarificar o suco tropical de maracujá. A influência da pressão transmembrana e do pré-tratamento enzimático do suco, foram estudadas no processo de clarificação por microfiltração. Os ensaios de clarificação por microfiltração do suco tropical de maracujá foram realizados numa unidade de microfiltração construída em aço inox. As membranas cerâmicas usadas apresentam diâmetro médio de corte de 0,3 e 0,8 μm . Os níveis de pressão transmembrana foram de 1,0 e 3,0 bar num processo isotérmico a 35°C. Os níveis de concentração de enzima Cytozym Ultra L utilizados no pré-tratamento do suco foram de 100 e 200 ppm. A condição de microfiltração que resultou num suco de boa qualidade foi com a membrana de 0,3 μm operada a 1,0 bar com suco pré-tratado com 100 ppm de enzima. Nesta condição, obteve-se fluxo de permeado igual 56 $\text{kg h}^{-1} \text{m}^{-2}$ e obtendo-se 100% na redução de sólidos em suspensão e 97% na redução da turbidez. Comparativamente o processo de centrifugação com o mesmo suco apresentou resultados praticamente equivalentes, mas com uma redução de sólidos suspensos inferior a de 100% observada para a microfiltração, sendo a obtenção de um suco isento de partículas suspensas, um dos principais objetivos deste trabalho.

Palavras-chave: microfiltração, centrifugação, maracujá.

ABSTRACT. *Comparison between centrifugation and microfiltration on the clarification of passion fruit juice.* Aiming at an alternative to the conventional centrifuge process of clarification, this work presents a study of the microfiltration processes to clarify the tropical juice of passion fruit. The influence of transmembrane pressure and the enzyme pre-treatment of the juice were studied in the process of clarification by microfiltration. Tests of microfiltration for clarification of tropical juice of passion fruit were performed in a microfiltration unit built in stainless steel. The ceramic membranes used have diameter cut-off 0.3 and 0.8 μm . The levels of transmembrane pressure investigated were 1.0 and 3.0 bar in an isothermal process at 35°C. The concentrations of Cytozym Ultra L enzymes used in the pre-treatment of the juice were 100 and 200 ppm. The condition that resulted into a better quality of micro filtered juice was with membrane of 0.3 μm at 1.0 bar operated with juice pre-treated with 100 ppm of enzyme. In this condition, a permeate flow equal to 56 $\text{kg h}^{-1} \text{m}^{-2}$ was obtained and resulting in 100% reduction of solid matter and 97% reduction in turbidity. The process of centrifugation with the same juice showed equivalent results, but the reduction of suspended solids was lower than the observed for microfiltration. The microfiltration allowed obtaining a juice free of suspended particles, which was the objective of this work.

Key words: microfiltration, centrifugation, passion fruit.

Introdução

A produção e a comercialização mundial de frutas encontram-se em uma fase de grande expansão, em função dos progressos tecnológicos atingidos em nível de produção e pós-colheita. Somam-se a estes fatores as mudanças no comportamento e hábitos alimentares da população.

Segundo Medina et al. (1980), as frutas de maracujá são de valor não tanto pelas características nutricionais, mas pelo seu sabor particular intenso e sua alta acidez, constituindo uma base forte interessante para fabricação de bebidas de sucos de frutas. Além disso, as espécies principais são boas fontes de vitamina A e niacina. Seu sabor, embora excelente, tende a ser superconcentrado.

Amplio uso do maracujá é feito por processamento comercial. Sucos são preparados como suco integral concentrado, ao natural ou congelado. Frequentemente, o suco é utilizado para conferir sabor a misturas de outros sucos de frutas. Bebidas carbonatadas têm sido preparadas de suco de maracujá (MEDINA et al., 1980).

O suco tropical é o produto obtido pela dissolução, em água potável, da polpa de fruta de origem tropical. Trata-se de uma bebida não-fermentada, de cor, aroma, e sabor característico da fruta, submetida a tratamento que assegure sua conservação e apresentação até o momento do consumo. O suco tropical de maracujá já deve apresentar cor que varia entre amarelo e laranja, sabor e aromas próprios. O suco tropical de maracujá adoçado deve conter, no mínimo, 12 g de polpa de maracujá por 100 g de produto e apresentar, no mínimo 11,0 °Brix (a 20°C), acidez total mínima (expressa em ácido cítrico) 0,27 g 100 g⁻¹ e concentração mínima de açúcares totais de 8,0 g 100 g⁻¹. O suco de maracujá não-adoçado deve conter, no mínimo 50 g de polpa de maracujá por 100 g de produto e apresentar valores mínimos de 6,0 °Brix (a 20°C) e acidez total (expressa em ácido cítrico) de 1,25 g 100 g⁻¹, além de uma concentração de açúcares totais de, no máximo, 9,0 g 100 g⁻¹ (VENTURINI FILHO, 2005).

A clarificação de sucos pode se dar por meio de processos: físicos, químicos e bioquímicos, ou então, uma associação entre eles, para se obter melhores resultados. De acordo com Venturini Filho (2005), a técnica convencional de clarificação do suco de maracujá é a centrifugação que é um processo de separação em que a força centrífuga relativa gerada pela rotação da amostra é usada para sedimentar sólidos em líquidos, ou líquidos imiscíveis de diferentes densidades, separando-os. É usada em diferentes aplicações laboratoriais, industriais e domésticas.

A microfiltração é o processo de separação com membranas mais próximo da filtração clássica, pois não se efetua a separação em nível molecular, mas sim de materiais (partículas) de tamanho bastante reduzido. Utiliza membranas porosas com poros na faixa entre 0,1 e 10 µm, sendo, portanto processos indicados para a retenção de materiais em suspensão e emulsão (Adaptado de HABERT et al., 1996). Na microfiltração, um gradiente de pressão é mantido por meio da membrana para manter o fluxo de permeado. O filtrado resultante ou permeado escoar através do meio filtrante e deve ser idealmente desprovido de sólidos em suspensão.

O objetivo do presente trabalho foi o de comparar o processo de microfiltração com a

centrifugação, na clarificação do suco tropical de maracujá para produção de suco tropical de maracujá sem partículas em suspensão.

Material e métodos

Na preparação do suco tropical de maracujá foi utilizada polpa integral de maracujá, adquirida junto a uma empresa fornecedora de polpa de suco de fruta da região de Maringá, Estado do Paraná. O preparo do suco tropical seguiu as instruções do fornecedor da polpa, sendo utilizado para cada teste 1,5 L de polpa para 3 L de água.

Para diminuir a viscosidade e o teor de polpa, o suco tropical de maracujá foi submetido a um pré-tratamento enzimático. A enzima utilizada foi a Cytrozym Ultra L fornecido pela Novozymes. A temperatura na qual foi realizada a hidrólise foi a de maior atividade pectolítica da enzima e essa temperatura foi de 50°C. O tratamento enzimático foi realizado num bécker de 4 L de capacidade, dentro de um banho termostático. Após a adição da enzima (100 e 200 ppm), o suco tropical permaneceu em tratamento durante 1h, com agitação intermitente. Nenhum procedimento foi realizado para desativação da enzima.

Os ensaios de clarificação por microfiltração do suco foram realizados numa unidade de microfiltração construída em aço inox. As membranas empregadas neste trabalho foram do tipo tubular cerâmica de TiO₂/α - Al₂O₃, Schumacher GmbH-Ti 01070, com diâmetro interno de 7 mm e área de membrana igual a 0,005 m². Os diâmetros médios de corte das membranas empregadas foram iguais a 0,3 e 0,8 µm. Neste trabalho foram avaliadas as influências de parâmetros importantes para o desenvolvimento do processo de clarificação por microfiltração, tais como concentração enzimática, pressão transmembrana e diâmetro de corte das membranas.

O procedimento experimental adotado nesta etapa consistiu em fixar a velocidade tangencial máxima fornecida pelo equipamento (6,7 m s⁻¹) e variar a concentração enzimática (100 e 200 ppm), pressão transmembrana (1,0 e 3,0 bar) e o diâmetro de corte da membrana (0,3 e 0,8 µm).

A unidade de microfiltração foi alimentada a cada corrida com 3,5 L de suco tropical de maracujá tratado enzimaticamente. A corrente de circulação foi bombeada para o interior da unidade de microfiltração, com temperatura controlada de 35°C. A massa de permeado foi determinada usando uma balança digital. O ensaio de microfiltração cessava quando 1 L (aproximadamente 1 kg) de permeado era coletado, o que corresponde a um

fator de concentração igual a 1,4. O fator de concentração foi calculado de acordo com a equação:

$$F_c = \frac{V_A}{V_A - V_P} \quad (1)$$

em que: F_c é o fator de concentração, V_A é o volume do alimentado e V_P é o volume do permeado.

Na clarificação por centrifugação, foi utilizada uma centrífuga do tipo Jouan 305. O suco tropical de maracujá foi centrifugado a 35°C, após o pré-tratamento numa velocidade de 3500 rpm por 30 min. O delineamento experimental é apresentado na Tabela 1, e os testes foram feitos em duplicata.

Tabela 1. Delineamento experimental para os testes de clarificação, usando fatorial simples.

Fatores / Números de testes	Níveis	Total de testes
Queda de pressão transmembrana	2	
Concentração enzimática	2	
Diâmetro de corte das membranas	2	
Total parcial de ensaios		8
Testes de centrifugação (em duas concentrações de enzimas)		2
Total de testes		10
Total de testes em duplicata		20

Para cada ensaio experimental, realizaram-se, nas amostras de suco alimentado, retido e permeado análises físico-químicas. As análises físico-químicas foram realizadas em triplicatas e são elas: pH, sólidos totais, sólidos solúveis, massa específica, turbidez, teor de polpa e açúcares redutores, segundo as metodologias citadas por Balischi et al. (2002).

Quando uma solução é microfiltrada, a retenção de macromoléculas adiciona outras parcelas à resistência da membrana, como pode ser visualizado na Figura 1. Em alguns casos, o aumento da resistência ao movimento reduz drasticamente o fluxo, de modo que este chega a ser apenas 5% do valor verificado com água pura (MULDER, 1991).

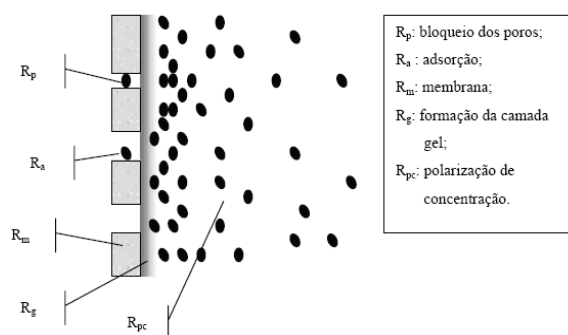


Figura 1. Os vários tipos de bloqueio de poros que diminuem o fluxo de permeado numa membrana.

Fonte: Mulder (1991).

A resistência total R_t é influenciada por vários mecanismos de bloqueio do percurso do permeado. O bloqueio de poros, a adsorção nos poros da membrana, a camada gel e a polarização de concentração, além da resistência inerente à própria membrana, são parcelas que, somadas, resultam na oposição ao movimento do permeado.

O fluxo pode ser descrito por um modelo de resistências dispostas em série, em analogia ao fluxo de calor (SCOTT; HUGHES, 1996). De acordo com Cheryan (1998), o fluxo permeado (J) pode ser expresso por:

$$J = \frac{P}{\mu \cdot R} \quad (2)$$

em que: P é a pressão transmembrana, μ é a viscosidade do permeado e R é a resistência total a qual pode ser definida por:

$$R = R_M + R_F + R_P \quad (3)$$

em que: R_M é a resistência da membrana, R_F é a resistência causada pelo *fouling* e R_P é a resistência pela polarização de concentração. A resistência R_P é resultante das condições de operação selecionadas e que apenas um enxágue lento com água ao final do processo remove essa parcela. A resistência R_F é considerada irreversível, ou seja, não é removida com um simples enxágue com água, sendo necessário realizar uma limpeza química.

Substituindo a Equação (3) na Equação (2), resulta:

$$J = \frac{P}{\mu \cdot (R_M + R_F + R_P)} \quad (4)$$

após o enxágue R_P torna-se nula e o fluxo de água é chamado de J_h :

$$J_h = \frac{P}{\mu \cdot (R_M + R_F)} \quad (5)$$

conhecidos R_M e R_F têm que R_P será:

$$R_P = \frac{P}{\mu \cdot J_h} - (R_M + R_F) \quad (6)$$

Resultados e discussão

Testes preliminares com microfiltração

Inicialmente foi realizada a microfiltração da polpa integral do suco de maracujá sem o tratamento

enzimático e foi constatado que não houve fluxo de permeado. Isso ocorreu porque a polpa integral do suco de maracujá, como pode ser observado na Tabela 2, é um sistema muito particulado com alto teor de sólidos em suspensão. Em seguida, foi realizada a microfiltração da polpa integral do suco de maracujá previamente centrifugada na temperatura de 35°C e 1,0 bar e foi verificado fluxo de permeado estabilizado igual a 8,5 kg h⁻¹ m⁻², o qual é considerado um fluxo baixo para operações industriais. Com base nesses fatos, optou-se pela realização do tratamento enzimático.

Tratamento enzimático

Na Tabela 2 é apresentada uma comparação entre as características físico-químicas da polpa e do suco tropical com e sem tratamento enzimático.

Tabela 2. Comparação das características físico-químicas da polpa *in natura*, centrifugada e do suco tropical antes e após o tratamento enzimático.

Análise	Polpa <i>in natura</i>	Polpa Centrifugada	Suco Tropical a 100 ppm	Suco Tropical a 200 ppm
pH	3,15	3,10	3,10	2,98
Turbidez (FAU)	*	470	380	390
Sólidos solúveis (°Brix)	12,2	4,6	4,4	4,2
Sólidos suspensos (%)	33	<1	22	22
Sólidos totais (% m m ⁻¹)	8,5	3,90	4,08	3,95
Açúcares redutores (mg mL ⁻¹)	7,5	3,5	7,2	6,5
Massa específica (kg m ⁻³)	1120	1026	1028	1027

*Valor fora da faixa de leitura do equipamento.

A centrifugação da polpa mostrou-se um processo no qual a turbidez foi 22% maior quando comparado com a hidrólise enzimática do suco tropical (considerando uma média entre os valores obtidos a 100 e 200 ppm, uma vez que as diferenças entre eles foram menores que 10%). Esse mesmo comportamento foi constatado para sólidos solúveis, onde para o suco tratado enzimaticamente foi aproximadamente 7% menor. Na centrifugação, obteve-se redução de sólidos suspensos superior a 99%. Massa específica e pH não sofreram alterações significativas. Os valores de açúcares redutores na amostra de suco hidrolisado foram aumentados se comparados aos valores do suco centrifugado, comprovando a atividade da enzima.

Influência da pressão transmembrana, do diâmetro de corte da membrana e da concentração de enzimas sobre o fluxo de permeado.

Para cada pressão transmembrana e concentração de enzimas usadas nos ensaios realizados, os fluxos de permeados estabilizados estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, para as membranas de 0,3 e 0,8 µm, respectivamente.

Tabela 3. Fluxos de permeados estabilizados* para o suco tropical de maracujá na membrana de 0,3 µm.

Concentração de enzima (ppm)	Pressão transmembrana (bar)	Fluxo de permeado ensaio 1 (kg h ⁻¹ m ⁻²)	Fluxo de permeado ensaio 2 (kg h ⁻¹ m ⁻²)	Fluxo de permeado médio (kg h ⁻¹ m ⁻²)
100	1,0	57	55	56
100	3,0	62	60	61
200	1,0	60	54	57
200	3,0	48	53	51

*Após o decaimento inicial.

Na Tabela 3, pode-se observar que na concentração enzimática de 100 ppm o aumento na pressão transmembrana de 1,0 bar para 3,0 bar causou pequeno aumento no fluxo estabilizado de permeado. Porém este aumento não justifica a escolha de maior pressão como condição ótima de operação do sistema, pois os ganhos no aumento do fluxo de permeado não compensam ao consumo de energia requerido para se aumentar a pressão transmembrana. Por outro lado, na concentração enzimática de 200 ppm, o comportamento observado foi o contrário, ou seja, foi constatada diminuição no fluxo de permeado e esta diminuição foi de aproximadamente 11% em relação ao fluxo de 1,0 bar. Nesse sentido, a melhor condição operacional para membrana de 0,3 µm é a utilização de pressão de 1,0 bar e o tratamento enzimático com 100 ppm de enzima.

Tabela 4. Fluxos estabilizados do suco tropical de maracujá na membrana de 0,8 µm.

Concentração de enzima (ppm)	Pressão transmembrana (bar)	Fluxo de permeado ensaio 1 (kg h ⁻¹ m ⁻²)	Fluxo de permeado ensaio 2 (kg h ⁻¹ m ⁻²)	Fluxo de permeado médio (kg h ⁻¹ m ⁻²)
100	1,0	57	50	54
100	3,0	32	40	36
200	1,0	48	40	44
200	3,0	57	49	53

Na Tabela 4, encontram-se os resultados dos fluxos estabilizados, obtidos no processamento do suco tropical de maracujá tratado enzimaticamente a 100 e 200 ppm, usando a membrana de 0,8 µm. Para esta membrana, o comportamento foi oposto ao da membrana de 0,3 µm. Usando 100 ppm de concentração enzimática, o aumento na pressão transmembrana provocou diminuição no fluxo de permeado e esta diminuição foi de aproximadamente 33%. Já a 200 ppm de concentração enzimática, houve aumento no fluxo de permeado e este aumento foi de aproximadamente 20%.

Ao comparar os maiores fluxos de permeado para a membrana de 0,8 µm, observa-se que estes ocorrem nas seguintes condições: 100 ppm de concentração de enzimas e 1,0 bar e 200 ppm e 3,0 bar. Por esses fluxos de permeado serem muito

próximos, então por questões de custos de operação é mais indicado operar com a membrana de 0,8 μm a 1,0 bar e com o suco tropical de maracujá pré-tratado enzimaticamente a 100 ppm.

Ressalta-se que o aumento da pressão transmembrana e da concentração enzimática não implicou numa variação significativa no pH e massa específica. Já para os sólidos solúveis, sólidos totais e açúcares redutores observam-se redução no permeado, e algumas superiores a 10%.

Analisando todos os resultados anteriores, constata-se que o aumento da concentração de enzimas no pré-tratamento do suco tropical de maracujá não melhorou o desempenho da membrana como também o aumento do diâmetro de poros não causou aumento expressivo no fluxo de permeado nem tampouco na qualidade do suco. Em vista disso, pode-se inferir que a membrana de 0,3 μm foi a que apresentou os melhores fluxos e que a concentração de 100 ppm de enzima é suficiente para hidrolisar e reduzir a viscosidade do suco para que se tenha um fluxo de permeado considerado viável economicamente.

Jiraratananon e Chanachai (1996), estudando os mecanismos de *fouling* na ultrafiltração do suco de maracujá com membrana de polissulfona de 30 kDa a 1,0 bar e 30°C, obtiveram fluxo de permeado estabilizado igual a 57 $\text{kg h}^{-1} \text{m}^{-2}$ e ainda observaram aumento pouco significativo no fluxo de permeado com o aumento da pressão transmembrana. Estes autores atribuem o fato à formação de uma camada de gel na superfície da membrana causado pelo acúmulo de pectina e amido o que consequentemente aumenta a resistência ao escoamento.

Vaillant et al. (1999), estudando a microfiltração tangencial do suco de maracujá, tratado enzimaticamente com Ultrazym 100G®, trabalhando nas condições de 1,5 bar, 36°C e velocidade de escoamento igual a 7 m s^{-1} , com uma membrana multicanal cerâmica de 0,2 μm , alcançaram fluxo estabilizado igual a 113 $\text{L h}^{-1} \text{m}^{-2}$. Estes autores procederam ainda a microfiltração do suco de maracujá sem tratamento enzimático e constataram fluxo estabilizado de aproximadamente 10 $\text{L h}^{-1} \text{m}^{-2}$ nas mesmas condições operacionais já citadas.

Silva et al. (2005) estudaram a clarificação do suco orgânico de maracujá por microfiltração. Os autores usaram membranas tubulares de poli(etersulfona) de diâmetro de corte igual a 0,3 μm . O suco orgânico foi hidrolisado com 150 ppm de Pectinex Ultra SPL, 300 ppm de Biopectinase e 40 ppm de α -amilase. Nas condições descritas, os autores relatam fluxo estabilizado igual a 25 $\text{L h}^{-1} \text{m}^{-2}$.

Características físico-químicas do suco tropical de maracujá clarificado por microfiltração

Para cada teste realizado foram averiguados alguns parâmetros físico-químicos importantes para aferir a qualidade do suco tropical de maracujá obtido. Os parâmetros avaliados foram citados em material e métodos. Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados, respectivamente, os resultados obtidos no processamento do suco tropical de maracujá usando as membranas de 0,3 e 0,8 μm (para as melhores condições de fluxo de permeado obtidos, estabelecidos anteriormente). Os resultados aqui mostrados correspondem à média obtida para os dois testes de microfiltração realizados.

Tabela 5. Características físico-químicas do suco tropical de maracujá processado na membrana de 0,3 μm , a 35°C, 1,0 bar e 100 ppm de concentração enzimática.

Análise	Alimentado	Permeado	Concentrado
pH	3,19	3,18	3,20
Turbidez (FAU)	428	12	605
Sólidos solúveis (°Brix)	4,2	3,6	4,6
Sólidos suspensos (%)	22	0	42
Sólidos totais (% m m^{-1})	4,14	3,88	4,37
Açúcares redutores (mg mL^{-1})	7,3	6,9	7,4
Massa específica (kg m^{-3})	1027	1020	1029

Tabela 6. Características físico-químicas do suco tropical de maracujá processado na membrana de 0,8 μm , a 35°C, 1,0 bar e 100 ppm de concentração enzimática.

Análise	Alimentado	Permeado	Concentrado
pH	2,98	2,96	3,04
Turbidez (FAU)	289	9	598
Sólidos solúveis (°Brix)	3,8	3,5	4,1
Sólidos suspensos (%)	24	0	36
Sólidos totais (% m m^{-1})	3,79	3,30	3,87
Açúcares redutores (mg mL^{-1})	6,3	5,7	5,7
Açúcar total (mg mL^{-1})	0,170	0,040	0,101
Massa específica (kg m^{-3})	1027	1022	1028

A variação do diâmetro de poro da membrana não causou variação significativa nos parâmetros pH e massa específica dos permeados obtidos. Uma possível variação no pH só ocorrerá quando existir reação dos ácidos do suco com o material do qual é constituída a membrana. Destaca-se remoção total dos sólidos suspensos e redução de sólidos solúveis e totais atingindo 13%, como apresentado na Tabela 5. Esta redução de sólidos está de acordo com a redução da turbidez observada nos permeados obtidos.

Os sólidos removidos do permeado ficam possivelmente na verdade depositados parcialmente na superfície da membrana, causando o *fouling* que consequentemente reduz o fluxo de permeado.

Para todas as condições experimentais, foi observada redução total de sólidos suspensos no permeado e que a redução de turbidez ficou entre 95 e 99%, o que caracteriza o processo de clarificação,

porém os resultados de turbidez, estão um pouco acima do valor considerado ótimo pela literatura que é de 2 NTU ou 2 FAU.

Características físico-químicas do suco tropical de maracujá clarificado por centrifugação

As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados das análises físico-químicas do suco tropical de maracujá centrifugado.

Tabela 7. Características físico-químicas do suco tropical de maracujá tratado enzimaticamente a 100 ppm e centrifugado à temperatura ambiente.

Análise	Alimentado	Sobrenadante
pH	2,65	2,65
Turbidez (FAU)	418	12
Sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix)	4,2	3,8
Sólidos suspensos (%)	24	< 0,5
Sólidos totais (% m m ⁻¹)	3,81	3,73
Açúcares redutores (mg mL ⁻¹)	3,1	2,0
Açúcar total (mg mL ⁻¹)	0,362	0,270
Massa específica (kg m ⁻³)	1027	1026

Tabela 8. Características físico-químicas do suco tropical de maracujá tratado enzimaticamente a 200 ppm e centrifugado à temperatura ambiente.

Análise	Alimentado	Sobrenadante
pH	2,55	2,43
Turbidez (FAU)	400	6
Sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix)	4,3	3,9
Sólidos suspensos (%)	22	< 0,5
Sólidos totais (% m m ⁻¹)	3,95	3,56
Açúcar redutor (mg mL ⁻¹)	4,8	3,4
Açúcar total (mg mL ⁻¹)	1,535	0,510
Massa específica (kg m ⁻³)	1027	1026

Nota-se que a centrifugação causou reduções de turbidez maior que 97% e ainda redução de sólidos suspensos superiores a 97% para ambos os tratamentos enzimáticos. Os demais parâmetros analisados tiveram comportamentos similares aos obtidos pelo processo de microfiltração.

Comparando os dados das análises físico-químicas do suco centrifugado nas diferentes concentrações enzimáticas, apura-se que todos os parâmetros físico-químicos analisados não sofrem alterações muito significativas o que evidencia que a variação da concentração enzimática não altera expressivamente estes parâmetros físico-químicos analisados. O suco centrifugado pré-tratado com 100 ppm de enzimas apresentou resultados muito próximos aos obtidos pelo processamento com a membrana de 0,3 μ m e 1,0 bar de pressão.

Limpeza das membranas

Para a limpeza das membranas cerâmicas seguiram-se os seguintes passos: (1^o) drenar todo suco da unidade; (2^o) recircular água desionizada a 35°C por 5 min. para retirar o suco da unidade; (3^o)

retirada da membrana do módulo de microfiltração; (4^o) lavagem da membrana em banho ultrassônico com solução de NaOH a 8 g L⁻¹ em dez ciclos de 15 min. a 65°C; (5^o) enxágue da membrana com água desionizada a 50°C em sete ciclos de 15 min.; (6^o) se o fluxo de água não retornasse ao original um novo ciclo de limpeza, como descrito anteriormente, era iniciado.

Estudos das resistências

A determinação das resistências foi analisada de modo a se determinar qual parcela contribuía em maior proporção para a redução de fluxo.

A Tabela 9 apresenta as porcentagens que cada resistência adicionou à resistência total do fluxo. Para ambas as membranas, a resistência do *fouling* contribuiu em maior proporção em relação à resistência de polarização de concentração.

Tabela 9. Contribuição para resistência total da membrana, de *fouling* e de polarização de concentração.

Membrana	0,3 μ m				0,8 μ m			
Concentração (ppm)	100	200	100	200	100	200	100	200
Pressão (bar)	1	3	1	3	1	3	1	3
RM (%)	18	4	17	7	9	4	3	2
RF (%)	44	58	46	36	58	59	61	65
RP (%)	38	38	37	38	34	38	35	33

Como apresentado na Tabela 9, a maior parte do total da resistência foi pelo *fouling* (36 - 65%). A resistência da membrana teve a menor porção de contribuição (2 - 18%) enquanto que a resistência por polarização de concentração variou entre 33 e 38%. Ushikubo et al. (2007) obtiveram comportamento similar aos obtidos nesse trabalho enquanto microfiltravam suco de umbu tratado enzimaticamente com Pectinex Ultra SP-L, membrana de polipropileno de diâmetro de poro igual a 0,2 μ m. Esses autores atribuem a alta resistência ao *fouling* às membranas de microfiltração que possuem poros maiores, o que permitem a adsorção de espécies presentes no suco nas paredes dos poros da membrana.

Jiratananon e Chanachai (1996), estudando os mecanismos de *fouling* na ultrafiltração do suco de maracujá com membrana de polissulfona de massa molecular de corte igual de 30 kDa a 1,0 bar relatam aumento de aproximadamente cinco vezes na resistência ao *fouling* com aumento da pressão transmembrana de 70 para 150 kPa. Os autores ainda relatam diminuição na resistência ao *fouling* quando o fluxo de permeado é aumentado.

Ushikubo et al. (2007) afirmam que para processos de ultrafiltração, onde os poros das membranas são menores que as partículas rejeitadas

ficam depositadas e/ou aderidas à superfície da membrana.

Rai et al. (2007) estudaram os efeitos de diversos tipos de pré-tratamento na ultrafiltração do suco de mosambi (*Citrus sinensis*) e afirmam que 82% da resistência total são devido ao *fouling*.

Comparação entre centrifugação e microfiltração

No que diz respeito à clarificação do suco tropical de maracujá, o processo de centrifugação e o processo de microfiltração são equivalentes, como pode ser observado na Tabela 10. Note que ambos os processos resultam num suco clarificado com 97% de redução de turbidez. Porém, para o objetivo geral deste trabalho, que é produzir um suco clarificado sem partículas em suspensão o processo de microfiltração se destaca por apresentar redução total em sólidos em suspensão.

Tabela 10. Comparação em percentual de redução dos resultados das análises físico-químicas do suco tropical de maracujá, pré-tratado com 100 ppm de enzima, em diferentes condições de clarificação em comparação ao suco tropical alimentado.

Análise	Percentual de redução do suco tropical de maracujá tratado enzimaticamente com 100 ppm de enzima		
	microfiltrado na membrana de 0,3 μm e 1,0 bar	microfiltrado na membrana de 0,8 μm e 1,0 bar	centrifugado
pH	0,3	0,7	0
Turbidez	97	97	97
Sólidos solúveis	14	8	9,5
Sólidos suspensos	100	100	> 98
Sólidos totais	6	13	2
Açúcar redutor	5	9	33
Massa específica	0,68	0,49	0,10

Os sucos clarificados por microfiltração nas membranas de 0,3 e 0,8 μm , no que diz respeito à qualidade físico-química, são semelhantes. Isso é comprovado quando são analisados os percentuais de redução na Tabela 10. Para se optar por uma membrana, pode-se observar na Tabela 9 que a resistência pelo *fouling* para membrana de 0,3 μm é menor. Este conhecimento sobre o fenômeno de *fouling* é importante, pois o mesmo é irreversível e para eliminá-lo é preciso fazer limpeza na membrana (ou seja, retirar a membrana do equipamento de microfiltração e proceder à limpeza química). Quanto maior a contribuição do *fouling* mais agentes de limpeza e tempo serão gastos para a limpeza. Como para membrana de 0,3 μm a resistência ao *fouling* foi menor, esta membrana é a mais indicada para clarificação do suco tropical de maracujá.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho observou-se que:

- o tratamento enzimático é imprescindível para

a clarificação do suco tropical de maracujá por microfiltração;

- o aumento na pressão transmembrana não provocou aumento significativo no fluxo de permeado a ponto de se optar a trabalhar em pressões menores pelo baixo consumo de energia quando comparado às pressões maiores;

- o aumento do diâmetro de poros de 0,3 μm para 0,8 μm não causou aumento significativo no fluxo de permeado, e a membrana de 0,3 μm foi a que apresentou maior fluxo de permeado;

- a variação na pressão transmembrana e da concentração enzimática não causou variação significativa nos parâmetros pH e massa específica dos permeados obtidos;

- a redução na turbidez ficou entre 95 e 99% para os processos com membranas;

- sólidos solúveis, sólidos totais, açúcar redutor e açúcar total tiveram redução, e algumas superiores a 10%;

- o aumento de concentração de enzimas para pré-tratar o suco tropical de maracujá não melhorou o desempenho da membrana;

- observou-se nas análises físico-químicas do suco centrifugado, nas diferentes concentrações enzimáticas, que todos os parâmetros físico-químicos analisados não sofrem alterações muito significativas o que evidencia que a variação concentração enzimática não altera expressivamente os mesmos;

- verificou-se que maior parte do total da resistência foi pelo *fouling* (36 - 65%).

Referências

- BALISCHI, L.; PEREIRA, N. C.; LIMA, O. C. M.; BARROS, S. T. D.; DAMASCENO, J. W.; MENDES, E. S. Influência do tratamento enzimático sobre as características reológicas e microscópicas da polpa de acerola. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 24, n. 32, p. 1649-1658, 2002.
- CHERYAN, M. **Ultrafiltration and microfiltration handbook**. 2nd ed. Lancaster: CRC Press, 1998.
- HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. **Processos de separação com membranas**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1996.
- JIRARATANANON, R.; CHANACHAI, A. A study of fouling in the ultrafiltration of passion fruit juice. **Journal of Membrane Science**, v. 111, n. 1, p. 39-48, 1996.
- MEDINA, J. C.; GARCIA, J. L. M.; TOCCHINI, R. P.; HASHIZUME, T.; MORETTI, V. A.; CANTO, W. L. **Maracujá, da cultura ao processamento e comercialização**. São Paulo: ITAL, 1980. (Frutas tropicais, 9).
- MULDER, M. **Basic principles of membrane technology**. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1991.
- RAI, P.; MAJUMDAR, G. C.; DAS GUPTA, S.; DE, S. Effect of various pretreatment methods on permeate flux and

quality during ultrafiltration of mosambi juice. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 2, p. 561-568, 2007.

SCOTT, K.; HUGHES, R. **Membrane equipment and plant design**: industrial membrane separation technology. 1st ed. London: Blackie Academic and Professional, 1996.

SILVA, T. T.; MODESTA, R. C. D.; PENHA, E. M.; MATTA, V. M.; CABRAL, L. M. C. Suco de maracujá orgânico processado por microfiltração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 419-422, 2005.

VAILLANT, F.; MILLAN, P.; O'BRIEN, G.; DORNIER, M.; DECLoux, M.; REYNES, M. Crossflow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction. **Journal of Food Engineering**, v. 42, n. 4, p. 215-224, 1999.

VENTURI FILHO, W. G. **Tecnologia de bebidas**: matéria prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado. São Paulo: Edgar Blucher, 2005.

USHIKUBO, F. Y.; WATANABE, A. P.; VIOTTO, L. A. Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice. **Journal of Membrane Science**, v. 288, n. 1, p. 261-266, 2007.

Received on October 7, 2008.

Accepted on May 12, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.