

Plínio Campos<sup>1</sup>, Aparecido  
Nivaldo Módenes<sup>1</sup>, Daniela  
Estelita Goes Trigueros<sup>1</sup>,  
Fernando Rodolfo Espinoza-  
Quinones<sup>2</sup>, Nehemias  
Curvelo Pereira<sup>2</sup>, Sueli  
Teresa Davantel de Barros<sup>2</sup>

---

**ANÁLISE DO FOULING NA  
ULTRAFILTRAÇÃO DO SUCO DE  
UVA**

---

**RESUMO:** Este trabalho tem por objetivo a avaliação do mecanismo de *fouling* na clarificação do suco de uva “in natura”. Antes de iniciar o processo de clarificação do suco de uva pelo processo de separação por membranas (PSM), a polpa passou por centrifugação seguida por tratamento enzimático utilizando a enzima pectinolyase (Novozym 33.095) na concentração de 50 mg L<sup>-1</sup>, temperatura de 35 °C e tempo de tratamento de 15 min. Durante o PSM foram testadas diversas condições experimentais de temperatura, pressão e diâmetro de poros das membranas. O maior valor para o fluxo médio durante o PSM foi alcançado utilizando a membrana de 0,05 mm na pressão de operação de 1 bar e temperatura de 40 °C. Nestas condições, foi realizado um estudo do comportamento do *fouling* onde verificou-se que o mecanismo predominante foi o de formação de torta.

**PALAVRAS-CHAVES:** suco de uva, separação por membranas, mecanismo de *fouling*.

**ABSTRACT:** This study aims to evaluate the fouling mechanism in the grape juice clarification process. Previous to apply a membrane separation process (MSP), grape pulp in nature was centrifuged and then submitted to an enzymatic process, with a better result at 50 mg L<sup>-1</sup> pectinolyase enzyme (Novozym 33095), 35 °C temperature, during 15 min treatment time. Several MSP experimental conditions regarding variations on temperature, pressure

---

Data de submissão 14-05-2012

Data de aceite: 04-04-2013

<sup>1</sup>Centro de Engenharias e Ciências Exatas – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Toledo - Rua da Faculdade, 645. Jardim Santa Maria – Toledo – PR – Brasil

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Química– Universidade Estadual do Oeste do Paraná

and membrane pore diameter were tested in order to improve the MSP performance on the grape juice quality. By setting a 0.05- $\mu\text{m}$  pore diameter, 1.0-bar pressure and 40 °C temperature, the highest mean flow rate value was achieved during the membrane separation process. In this MSP condition, a study of fouling behavior was performed, verifying that the main fouling mechanism is the pie formation.

**KEYWORDS:** grape juice; membrane separation; mechanism fouling.

## 1. INTRODUÇÃO

Os processos de separação, concentração e purificação são operações industriais essenciais na obtenção de produtos com características específicas. Desta forma, eles estão relacionados à indústria química, petroquímica, farmacêutica, alimentícia, cosmética, cerâmica, além de estarem presentes no tratamento de águas industriais, bem como na medicina e biotecnologia.

Os processos de separação por membranas (PSM) apresentam-se como uma alternativa aos métodos convencionais de separação, tais como a filtração, centrifugação, destilação, evaporação, sedimentação etc, devido à alta seletividade, baixo consumo de energia e menor tempo de operação (Habert *et al* 2006). Além disso, processos com membranas não requerem a utilização de produtos químicos, o que implica minimização da geração de efluentes.

A aplicação dos PSM em indústrias alimentícias surgiu no início da década de oitenta e a sua integração com métodos convencionais tem ganhado destaque na industrialização de sucos de fruta devido à minimização de custos com matérias-primas e equipamentos e à maior qualidade do produto final. Dentre as aplicações realizadas com sucesso tem-se: a osmose inversa para a concentração; a ultrafiltração para o fracionamento, concentração e purificação; a microfiltração para a clarificação, esterilização e fracionamento de macromoléculas; eletrodialise para a desmineralização e a pervaporação para a extração e/ou destilação (Cheryan e Alvarez, 1995). Assim, os processos convencionais combinados aos PSM têm apresentado vantagens se comparado a aplicação de processos de separação isoladamente (Yamaguchi *et al.*, 2007).

Apesar do aumento de sua aplicação, os PSM apresentam efeitos limitantes do fluxo permeado. Como a membrana é seletiva, ocorre o acúmulo de solutos que são rejeitados pela membrana, resultando em uma camada concentrada na interface da mesma que confere maior

resistência à transferência de massa. Esse fenômeno é denominado de polarização por concentração e é um dos fatores limitantes no uso de membranas. Outros fatores, tais como as interações físico-químicas entre o soluto e a membrana, o pH da solução, a morfologia da membrana, o diâmetro dos poros, fluidodinâmica, pressão, temperatura e velocidade do fluxo de alimentação no módulo de separação, implicam resistências adicionais à transferência de massa, devido ao fenômeno de *fouling* (Ripperger e Altmann, 2002).

Portanto, a principal limitação dos PSM (ultrafiltração e osmose inversa) está nos efeitos que limitam o fluxo permeado ao longo do tempo, diminuindo a vida útil da membrana, os quais são caracterizados pelo fenômeno de polarização por concentração e pelo fenômeno de *fouling*. A polarização por concentração consiste basicamente na formação de uma camada limite de concentração próxima à superfície da membrana. Já o *fouling* é caracterizado pela adsorção de partículas sobre a superfície ou interior dos poros das membranas e/ou formação da camada gel, também denominada de camada de torta (Ripperger e Altmann, 2002). A formação da camada de polarização por concentração e da camada de torta (*fouling*) podem ser minimizadas quando condições operacionais ótimas são adotadas.

Assim, este trabalho tem por objetivo principal avaliar o mecanismo de *fouling* durante o processo de clarificação do suco de uva por ultrafiltração. Para obtenção das condições operacionais que levaram ao maior valor de fluxo médio foram avaliadas as diversas condições experimentais de temperatura, pressão e diâmetro de poros das membranas. Os modelos de mecanismo de *fouling* foram ajustados aos dados experimentais de fluxo médio pelo método PSO.

## 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Coleta e preparo da polpa

Neste trabalho a uva americana da espécie *Vitis labrusca*, conhecida como Isabel, por ser a mais usada no Brasil para o preparo de suco foi utilizada como matéria prima. Após a coleta, as uvas foram submetidas ao despulpamento em despulpador de frutas industrial da Mercopolpa, acondicionadas em embalagens plásticas de 15 kg e armazenadas à temperatura de -4 °C para posterior análise e tratamentos em no máximo 12 meses.

## 2.2 Pré-tratamento da polpa utilizada

Antes da ultrafiltração a polpa de uva passou por 15 minutos de centrifugação, utilizando centrífuga C3.12 marca JOUAN a 3000 rpm. Após a centrifugação o sobrenadante foi submetido a um tratamento enzimático utilizando a enzima pectino liase Novozym 33095® (Novozymes, 2001). As condições do processo foram: concentração enzimática de 50 ppm, temperatura de 35 °C e tempo de tratamento de 15 minutos.

## 2.2. Análises Físico-químicas

Depois de descongeladas à temperatura ambiente, a polpa foi submetida a análises físico-químicas para determinação do pH, cor, turbidez, sólidos solúveis (°Brix) e acidez total. As medidas de pH dos sucos de uva foram realizadas utilizando um pHmetro Digimed DM 20. A cor para suco clarificado foi determinada pela medida da absorbância de luz no comprimento de onda de 440 nm realizado em espectrofotômetro UV-vis (marca Shimadzu, modelo HACH DR/2010). A partir das leituras de absorbância, o grau de clarificação dos sucos de uva foi também determinado e expresso em porcentagem de transmitância. A turbidez dos sucos de uva foi também determinada por meio da leitura de absorbância, porém no comprimento de onda de 860 nm. A determinação de acidez foi feita por método titulométrico, utilizando NaOH e fenolftaleína como indicador (Lutz, 1985). A quantidade de sólidos solúveis (°Brix) foi determinada utilizando refratômetro (marca Shimadzu, modelo ABBE-3L) (AOAC, 1990).

## 2.3. Ultrafiltração

Após o tratamento enzimático foi utilizada uma unidade piloto de ultrafiltração, marca NETZSCH e modelo 027.06-1C1/07-0005/AI para a retenção de partículas do suco de uva, sob filtração tangencial na velocidade tangencial máxima de 4,17 m/s. A unidade piloto é constituída por um tanque de alimentação de 5 L e equipada com um módulo tubular de 25 cm de comprimento e diâmetro interno de 0,7 cm, sendo utilizada membrana cerâmica ( $\mu$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>) com diâmetro de poros de 0,05  $\mu$ m. Nesta unidade a polpa é bombeada do tanque de alimentação para o módulo PSM, sendo o permeado coletado enquanto que o retido é encaminhado novamente ao tanque de alimentação. Baseado num delineamento experimental completamente casualizado,

o PSM foi realizado considerando as temperaturas de operação de 30 e 40 °C e pressões de 1, 2 e 3 bar. Todos os testes foram realizados em duplicatas.

#### 2.4. Análise estatística

Com o objetivo de avaliar se os conjuntos de dados dos parâmetros de resposta (acidez total, sólidos solúveis (°Brix), cor, pH e turbidez) seguem a distribuição normal, a hipótese de nulidade foi testada ao nível de  $\alpha = 0,05$  baseado no teste Shapiro-Wilk. Confirmada a distribuição normal dos dados de resposta, os valores médios dos parâmetros físico-químicos foram avaliados quanto a sua significância segundo as condições experimentais do tratamento enzimático, aplicando a ferramenta estatística ANOVA e obtendo os resultados do teste F para as médias. As diferenças estatisticamente significativas à 95% ( $p < 0,05$ ) entre as médias múltiplas dos parâmetros físico-químicos também foram avaliadas com base no teste Tukey.

#### 2.5. Mecanismo de fouling

A principal limitação dos PSM está nos efeitos que limitam o fluxo permeado ao longo do tempo, diminuindo a vida útil da membrana, os quais são caracterizados pelo fenômeno de polarização por concentração e pelo fenômeno de *fouling*. A polarização por concentração consiste basicamente na formação de uma camada limite de concentração próxima à superfície da membrana. Já o *fouling* é caracterizado pela adsorção de partículas sobre a superfície ou interior dos poros das membranas e/ou formação da camada gel, também denominada de camada de torta. O *fouling* da membrana é considerado a principal desvantagem de sua aplicação, devido às freqüentes limpezas ou substituição da membrana, e principalmente pelo aumento do custo operacional ocasionado pelo maior consumo de energia, em consequência à redução do fluxo permeado ao longo do tempo (Giorno *et al*, 1998).

Neste trabalho, o mecanismo de *fouling* foi caracterizado pelo ajuste do modelo proposto por Field *et al.*, (1995), adaptado do modelo proposto por Hermia (1982), o qual descreve o volume permeado em filtração transversal à pressão constante a partir da equação (1). Este modelo descreve o declínio do fluxo ao longo do tempo em escoamento tangencial, à pressão constante, podendo caracterizar o mecanismo de *fouling* a partir do valor do parâmetro  $k$ , considerado como a

constante empírica relacionada aos fenômenos experimentais, além dos parâmetros  $n$ , que caracterizam o mecanismo de fouling da seguinte forma: o bloqueio completo dos poros da membrana ( $n=2$ ), bloqueio interno dos poros ( $n=1.5$ ), bloqueio parcial dos poros ( $n=1$ ) e camada de torta ( $n=0$ ). Segundo Field *et al.*, (1995) o fluxo crítico corresponde ao fluxo permeado que ocorre antes do *fouling*, ou seja, consiste no maior fluxo permeado onde não se observa a redução do fluxo com o tempo.

$$\frac{dJ}{dt} = k(J - J^*)J^{2-n}$$

Sendo  $J$  o fluxo permeado,  $J^*$  o fluxo crítico e  $t$  o tempo.

O algoritmo de otimização por enxame de partículas (*Particle Swarm Optimization* – PSO) foi aplicado para a determinação dos parâmetros  $k$  e  $n$  do modelo, por meio do ajuste não-linear aos dados experimentais, aplicando-se como critério de otimização a minimização da função objetivo (F.O.) descrita pela equação (2). Além desses parâmetros, o fluxo crítico foi adicionado como parâmetro a ser otimizado durante o procedimento de otimização. O algoritmo PSO foi implementado no *software* Maple 14<sup>®</sup>, conforme descrito por Trigueros *et al.*, (2010) e Modenes *et al.*, (2012), executado no *Windows* 7, utilizando-se um microcomputador Intel<sup>®</sup> Core™ i7-930, 2.8 GHz e 8 GB de memória RAM.

$$F.O. = \sum_{i=1}^n \left( \frac{J_i^{\text{exp}} - J_i^{\text{pred}}}{J_i^{\text{exp}}} \right)^2 \quad (2)$$

Sendo  $J^{\text{exp}}$  valor do fluxo obtido experimentalmente e  $J^{\text{pred}}$  valor do fluxo predito pelo modelo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização da Polpa

A polpa de uva foi caracterizada por meio de análises dos parâmetros físico-químicos: acidez total, Sólidos solúveis (°Brix), cor, pH, sólidos totais e turbidez, cujos resultados são apresentados na Tabela 1. O tratamento enzimático do suco de uva utilizando a enzima Novozym 33095 objetivou a redução nos valores dos parâmetros físico-químicos em relação à polpa “in natura”. A redução nos valores destes parâmetros é essencial como etapa preliminar aos PSM para preservar

a eficiência da membrana, minimizando a formação de camada de torta e a polarização por concentração. Desta forma, o pré-tratamento enzimático da polpa de uva se mostrou uma etapa necessária no processo de fabricação do suco de uva.

### 3.2. Avaliação do fluxo permeado e parâmetros Físico-Químicos após o PSM

Após o tratamento enzimático, a polpa foi submetida ao processo de ultrafiltração. Foram realizados experimentos utilizando membrana tubular cerâmica com diâmetro médio de poro ( $f$ ) de 0,05 mm (Ultrafiltração) nas temperaturas de 30 e 40 °C e pressões de 1, 2 e 3 bar, sendo o fluxo do permeado e os parâmetros físico químicos monitorados. Os resultados obtidos para os parâmetros acidez total, sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix), cor, pH, turbidez e massa específica são apresentados na Tabela 1. Enquanto os valores do fluxo médio nas diversas condições experimentais testadas são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 1.** Parâmetros físico-químicos da polpa de uva “in natura” e após o PSM sob as diferentes pressões de operação testadas utilizando a polpa pré-tratada com a enzima Novozym 33095 na concentração de 50 ppm, 35 °C e tempo de 15 min.

Parâmetro	Valor do parâmetro para amostra “in natura”	Pressão de operação (bar)	Valor do parâmetro após o PSM utilizando membrana de 0,05 $\mu$ m
acidez total titulável (% v/m)	13,9	1	12,1 $\pm$ 0,6
		2	10,4 $\pm$ 0,6
		3	10,4 $\pm$ 0,6
Sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix)	11,0	1	8,8 $\pm$ 0,6
		2	9,6 $\pm$ 0,6
		3	9,6 $\pm$ 0,6
Cor (1000 mg PtCo/L)	31	1	3,0 $\pm$ 0,2
		2	3,5 $\pm$ 0,3
		3	3,5 $\pm$ 0,2
pH	3,1	1	3,03 $\pm$ 0,02
		2	2,85 $\pm$ 0,02
		3	3,20 $\pm$ 0,04
Turbidez (FAU)	8.700	1	150 $\pm$ 30
		2	150 $\pm$ 30
		3	150 $\pm$ 30
Massa específica (g cm <sup>-3</sup> )	1,03	1	1,03 $\pm$ 0,02
		2	1,04 $\pm$ 0,01
		3	1,03 $\pm$ 0,01

**Tabela 2.** Valores médios do fluxo permeado nas condições experimentais testadas de pressão e temperatura.

Diâmetro de poros ( $\mu\text{m}$ )	Fluxo médio ( $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )					
	1 bar		2 bar		3 bar	
	30°C	40°C	30°C	40°C	30°C	40°C
0,05	99,54	136,38	96,54	120,00	100,44	79,21

Analisando os dados da Tabela 2, verifica-se que com o aumento do diâmetro médio de poros e o aumento da pressão o fluxo do permeado é reduzido. Segundo Cheryan e Alvarez (1995), este comportamento deve-se à consolidação da camada gel polarizada, que no caso do suco de uva se forma devido à pectina presente, uma vez que a pectina tem um grande potencial para formar géis. Logo, no PSM ocorre à formação da camada gel sobre a membrana, que é comprimida a altas pressões resultando em diminuição dos valores de fluxos permeados. Além disto, há uma maior contribuição do fluxo transversal com o aumento da pressão, reduzindo assim o fluxo permeado. O aumento do fluxo do permeado com o aumento da temperatura pode ser explicado pela redução da viscosidade do meio, pois as partículas que contribuem para o fechamento dos poros, e conseqüente redução de fluxo, são carregadas mais facilmente pelo suco em meios menos viscosos.

O melhor resultado para o fluxo do permeado, entre todas as condições testadas, foi obtido utilizando-se a membrana com diâmetro de poro 0,05 mm na pressão de 1 bar e temperatura de 40 °C. Na mesmas condições, a polpa de uva “in natura” sem o tratamento enzimático apresentou um fluxo permeado médio de apenas 65,16  $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ , evidenciando a importância do tratamento enzimático, pois este promove a redução de partículas insolúveis e materiais em suspensão, deixando a polpa em condições mais favoráveis a ultrafiltração.

Além da melhora na resposta do fluxo do permeado, os efeitos da temperatura, pressão e diâmetro de poros sobre os valores dos parâmetros físico-químicos foram avaliados, procurando as melhores condições experimentais que providenciem características físico-químicas do permeados mais próximas ao suco “in natura”, exceto a turbidez que deve ser reduzida. Assim, as respostas das análises físico-químicas obtidas foram submetidas a um teste de Tukey nas variáveis temperatura, pressão e diâmetro de poros, cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Resultados do teste Tukey para os parâmetros físico-químicos para as variáveis pressão e nas temperaturas de 30 e 40 °C após PSM.

Parâmetro	Pressão (bar)		
	1	2	3
Acidez	13,26 <sup>a</sup>	11,64 <sup>b</sup>	11,55 <sup>b</sup>
Sólidos solúveis (°Brix)	10,25 <sup>a</sup>	9,62 <sup>a</sup>	9,63 <sup>a</sup>
Cor (1000 mg PtCo/L)	4.283 <sup>a</sup>	4.108 <sup>a</sup>	4.475 <sup>a</sup>
pH	3,08 <sup>a</sup>	3,24 <sup>a</sup>	3,06 <sup>a</sup>
Turbidez (FAU)	125 <sup>a</sup>	158 <sup>b</sup>	142 <sup>b</sup>
Massa específica (g cm <sup>-3</sup> )	1,03 <sup>a</sup>	1,04 <sup>a</sup>	1,03 <sup>a</sup>

Médias seguidas de mesma letra minúscula (a,b), dentro de cada linha, não diferem entre si a  $p < 0,05$

Analisando os resultados obtidos para o parâmetro **sólidos solúveis** (°Brix), **pH**, e **massa específica**, verifica-se que os valores obtidos relativos à variável temperatura, pressão e diâmetro de poros não foram significativamente diferentes ( $p < 5\%$ ) pelo teste de Tukey. Enquanto que para o parâmetro **acidez**, os valores obtidos relativos à variável temperatura e diâmetro de poros não foram significativamente diferentes ( $p < 5\%$ ) enquanto que para a variável pressão apresentaram um nível de significância maior que 5% para a pressão de 1 bar, apesar de apresentar um valor mais alto para esta pressão, este foi muito próximo ao valor do suco in natura.

Analisando os resultados obtidos para o parâmetro **cor**, verifica-se que os valores obtidos relativos à variável temperatura e pressão não foram significativamente diferentes ( $p < 5\%$ ) enquanto a variável diâmetro de poros apresentou um nível de significância maior que 5%, gerando o menor valor médio para a membrana de 0,05mm.

A análise estatística no parâmetro **turbidez** mostrou que os valores obtidos quanto à variação da temperatura não foram significativamente diferentes ( $p < 5\%$ ), enquanto as variações na pressão e diâmetro de poros apresentaram significância maior que 5% nos valores médios da turbidez. Os menores valores de turbidez foram obtidos para a membrana de 0,05mm e pressão de 1 bar.

Considerando as melhores condições dos parâmetros físico-químicas do suco de uva após o processo PSM, observa-se uma redução nos valores dos parâmetros físico-químicos em relação à polpa “in natura” com a utilização da membrana de 0,05mm, operando na pressão de 1 bar, independentemente da temperatura de operação.

Avaliando-se os resultados para fluxo permeado médio e os parâmetros físico-químicos, verifica-se que as melhores condições de

operação foram obtidas utilizando a membrana de 0,05 mm na pressão de operação de 1 bar e temperatura de 40 °C.

### 3.3. Determinação do mecanismo de fouling

Os resultados do ajuste para a ultrafiltração utilizando a membrana de 0,05mm nas pressões de operação de 1, 2 e 3 bar e temperaturas de 30 e 40 °C são apresentados na Tabela 4. Para a menor F.O., o mecanismo predominante para as três pressões (1, 2 e 3 bar), a 30 °C foi para  $n=0$ . Este é o mecanismo de formação de torta ou camada gel, devido à adsorção de partículas à superfície da membrana e/ou resultante de altas concentrações de soluto na superfície da membrana. Para a temperatura de 40 °C, o mecanismo predominante, na pressão de 1 e 2 bar, foi a formação de torta ou camada gel. No entanto, para a pressão de 3 bar o mecanismo predominante foi o bloqueio interno dos poros ( $n=1.5$ ). Isto pode ser explicado pelo fato de que o tratamento enzimático a 40 °C promove maior redução de partículas insolúveis e materiais em suspensão, assim o aumento do tamanho dos poros das membranas facilita o ingresso destas partículas a pressões mais elevadas, resultando no fechamento dos poros.

**Tabela 4.** Valores dos parâmetros do modelo Field *et al.*, (1995) estimados pelo PSO para os dados experimentais de PSM

Diametro de poros ( $\mu\text{m}$ )	Temperatura (°C)	Pressão (bar)	n	k	J <sub>crítico</sub>	F.O.
0,05	40	1	0	0,000052	124,514670	0,019271
		2	0	0,000157	120,764639	0,079492
		3	1,5	0,266188	72,912129	0,019308

Os dados experimentais de ultrafiltração a 40 °C juntamente com o ajuste do modelo Field *et al.*, (1995) obtido utilizando o algoritmo PSO para as pressões de 1, 2 e 3 bar são apresentados na Figura 2. A Tabela 5 apresenta os resultados das análises físico-químicas obtidos para o suco de uva após os processos de tratamento enzimático (Novozym 33095, 50 ppm, 35 °C e 15 min) e ultrafiltração (0,05 mm, 1 bar e 40 °C), bem como as análises de 3 sucos comercializados na região (denominados de SC1, SC2 e SC3).

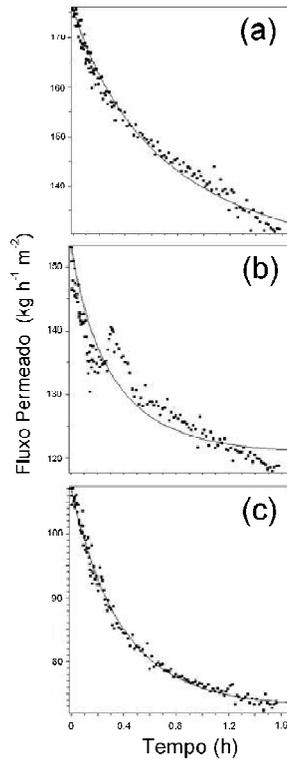


Figura 2. Dados experimentais do fluxo permeado após a ultrafiltração a 40 °C, nas pressões: (a) 1, (b) 2 e (c) 3 bar, junto com os respectivos ajustes do modelo proposto por FIELD et al., (1995).

Tabela 5. Resultados dos parâmetros físico-químicos obtidos para o suco de uva “in natura” e após os processos de tratamento enzimático (Novozym 33095, 50 ppm, 35 °C e 15 min) e o PSM (0,05 mm, 1 bar e 40 °C).

Parâmetro	Polpa “in natura”	Polpa após tratamento enzimático a 40°C	Polpa após ultrafiltração	SC1	SC2	SC3
Acidez	13,90	12,82	12,1	9,27	11,35	10,47
Sólidos solúveis (°Brix)	11,0	7,4	8,8	9,0	13,5	13,5
Cor (mg Pcto/L)	31.550	25.900	3.000	25.400	16.800	19.600
pH	3,1	3,40	3,03	3,06	3,03	3,18
Turbidez (FAU)	8.700	4.550	155	4.500	2.900	3.500

Considerando os valores dos parâmetros físico-químicos do suco de uva após o tratamento com a enzima Novozym 33095, observa-se uma redução nos valores dos parâmetros físico-químicos em relação à polpa “in natura”. Analisando os resultados obtidos para os parâmetros pH e acidez, verifica-se valores próximos aos obtidos para os sucos comerciais. Entretanto, os parâmetros cor e turbidez tiveram seus valores iniciais reduzidos após o tratamento enzimático, ficando levemente acima dos apresentados para os sucos comerciais. No entanto, esses valores foram ainda menores na ultrafiltração. Embora os valores dos sólidos solúveis tenham tido grande redução ficando muito abaixo dos valores obtidos para os sucos comerciais (SC1, SC2 e SC3) após o tratamento enzimático e na ultrafiltração, espera-se que no processo de concentração pela osmose inversa sejam obtidos valores iguais ou maiores que aqueles apresentados pelos sucos comerciais. A redução nos valores dos parâmetros físico-químicos após o tratamento enzimático é essencial como etapa preliminar aos PSM (ultrafiltração e osmose inversa) para preservar a eficiência da membrana, minimizando a formação de camada de torta e a polarização por concentração. Desta forma, o pré-tratamento enzimático da polpa de uva seguido pela ultrafiltração se mostrou uma etapa necessária e eficiente no processo de fabricação do suco de uva.

Assim o processo de fabricação de suco de uva consistindo de um tratamento enzimático seguido de um PSM pode ser potencialmente considerado como uma boa alternativa na clarificação do suco de uva.

#### 4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, após o tratamento baseado na enzima Novozym 33095, a melhor condição de operação do PSM foi alcançada quando utilizada a pressão de operação de 1 bar e temperatura de 40 °C. Assim, obteve-se maior valor do fluxo permeado médio juntamente com maior redução dos valores dos parâmetros físico-químicos cor e turbidez, enquanto os demais parâmetros (acidez total, sólidos solúveis (°Brix) e pH) ficaram com valores próximos à aqueles característicos da polpa de uva “in natura”. O processo de clarificação do suco de uva, consistindo no tratamento enzimático seguido pela ultrafiltração, se mostrou um sistema alternativo eficiente, pois além da minimização da formação de camada de torta e a polarização por concentração, o pré-tratamento enzimático da polpa de uva aumentou consideravelmente o fluxo médio permeado com relação ao processo

de ultrafiltração sem prévio tratamento enzimático. A análise do mecanismo de *fouling* demonstrou que no processo de clarificação o mecanismo predominante foi a formação de torta ou camada gel.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Araucária pelo financiamento deste estudo.

## 5. REFERÊNCIA

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official methods of analyses of A. O. A. C. 15<sup>th</sup> ed. Washington: AOAC, 1990. v. 2, cap. 37, p. 915 e 922.

CHERYAN, M., ALVAREZ, J. R. Food and beverage industry applications. Department of Food Science, 103 Agricultural Bioprocess Laboratory, University of Illinois, Urbana, IL 61801, USA. Department of Chemical Engineering, University of Oviedo, Spain. 1995.

FIELD, R. W., WU, D., HOWELL, J. A., GUPTA, B. B. Critical flux concept for microfiltration fouling. *Journal of Membrane Science*, 100, p. 250-272, 1995.

GIORNO, L., TODISCO, S., DONATO, L., DRIOLO, E., Study of fouling phenomena in apple juice clarification by enzyme membrane reactor. *Separation Science and Technology*, 33 (5), p. 739-756, 1998.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P. e NÓBREGA, R., Processos de Separação por Membranas, Rio de Janeiro: E-papers, 2006, 180 p.

HERMIA, J. Constant pressure blocking filtration laws. Applications to power – law non – Newtonian fluids, *Trans Ichem. E.*, 60, pp. 183-187, 1982.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 3.ed. São Paulo, 1985. v. 1, p. 27.

MÓDENES, A. N., ESPINOZA-QUIÑONES, F. R., BORBA, C. E., TRIGUEROS, D. E. G., PIETROBELLI, J. M. T. A., LAVARDA, F. L., RAVAGNANI, M. A. S. S., BERGAMASCO, R., Binary adsorption of a Zn(II)-Cu(II) mixture onto *Egeria densa* and *Eichhornia crassipes*: Kinetic and equilibrium data modeling by PSO, *Separation Sci. Technol.* 47 (6)

(2012). DOI:10.1080/01496395.2011.627407

NOVOZYMES Manual, Product Sheet, Fruit & Vegetable-07212-02. Araucária: Novozymes Latin America Limited. 2001.

RIPPERGER, S., ALTMANN, J., Crossflow microfiltration – state of the art, Separation and Purification Technology, 26 (2002) 19–31.

TRIGUEROS, D. E. G., MÓDENES, A. N., KROUMOV, A. D., ESPINOZA-QUIÑONES, F. R., Modeling of biodegradation process of BTEX compounds: kinetic parameters estimation by using Particle Swarm Global Optimizer, Process Biochem. 45 (2010) 1355–1361.

YAMAGUCHI, T., NIITSUMA, T., BALAGOPAL, N. N., KAZUAKI, N., Lithium silicate based membranes for high temperature CO<sub>2</sub> separation, Journal of Membrane Science 294 (2007) 16-21.