



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO - CT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
DE ALIMENTOS**

**OBTENÇÃO DE BASE NEUTRA DE AÇÚCARES E  
MINERAIS A PARTIR DO SUCO DE BANANA  
CLARIFICADO POR MICROFILTRAÇÃO**

**JOSÉ DIOGO DA ROCHA VIANA  
Engenheiro de Alimentos**

**Orientador:** Dr. José Carlos Cunha Petrus  
**Coorientador:** Dr. Fernando Antônio Pinto de Abreu

Florianópolis – SC  
2017



**JOSÉ DIOGO DA ROCHA VIANA**

**OBTENÇÃO DE BASE NEUTRA DE AÇÚCARES E MINERAIS  
A PARTIR DO SUCO DE BANANA CLARIFICADO POR  
MICROFILTRAÇÃO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

**Orientador:** Dr. José Carlos Cunha Petrus

**Coorientador:** Dr. Fernando Antônio Pinto de Abreu

Florianópolis

2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Viana, José Diogo da Rocha

Obtenção de base neutra de açúcares e minerais a partir do suco de banana clarificado por microfiltração / José Diogo da Rocha Viana ; orientador, José Carlos Cunha Petrus, coorientador, Fernando Antônio Pinto de Abreu, 2017. 104 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Banana. 3. Microfiltração. 4. Desaromatização. I. Petrus, José Carlos Cunha . II. Abreu, Fernando Antônio Pinto de . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

**OBTENÇÃO DE BASE NEUTRA DE AÇÚCARES E MINERAIS  
A PARTIR DO SUCO DE BANANA CLARIFICADO POR  
MICROFILTRAÇÃO**

Por

**JOSÉ DIOGO DA ROCHA VIANA**

Dissertação julgada para obtenção do Título de **Mestre em Engenharia de Alimentos**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.

---

Prof. Dr. José Carlos Cunha Petrus  
Orientador

---

Dr. Fernando Antônio Pinto de Abreu  
Coorientador

---

Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar Carciofi  
Coordenador do Curso

**Banca examinadora:**

---

Prof. Dr. José Antônio Ribeiro de Souza

---

Prof. Dr. Marco Di Luccio

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Débora de Oliveira

---

Dr. Fernando Antônio Pinto de Abreu

Florianópolis, 06 de março de 2017



Dedico esse trabalho aos meus pais, Cleubia e Neto, aos meus avós, José e Hosana e aos meus tios, Glauba, Glaubo e Clebo, por terem sempre me guiado ao caminho do bem.



## AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, saúde e discernimento para com o caminho da bondade.*

*Obrigado aos meus familiares, mãe, pai, tios e avós pelo suporte emocional, afetivo e econômico em toda minha caminhada, em especial a minha mãe, tia e avó que “doaram a vida” para eu ter e conquistar o que hoje conquistei.*

*Obrigado aos amigos de infância, colegas e irmãos de vida, por sempre me jogarem para frente quando o caminho pareceu tortuoso.*

*Obrigado a Mayrla pela consideração e atenção ao me ajudar com a estatística, além do apoio e amizade sempre evidente.*

*Obrigado a Cris e ao Rogênio pela paciência de me ensinarem sobre reologia e suas variáveis.*

*Obrigado a Embrapa, aos amigos e colegas da Embrapa Agroindústria Tropical, em especial meu coorientador Fernando Abreu e ao meu companheiro de dúvidas Arthur Claudio, pelo suporte técnico científico e emocional, pela paciência e por acreditarem em mim como profissional e pessoa.*

*Obrigado ao meu orientador da UFSC, José Calor Cunha Petrus, pela liberdade e crença concedida a mim em detrimento ao desenvolvimento desse trabalho com sucesso e principalmente a oportunidade creditada.*

*Obrigado a Natvita® pela doação das resinas e a Pura Vida® pela doação das bananas.*

*Obrigado a Universidade Federal de Santa Catarina pelo suporte acadêmico.*

*Agradeço também a CAPES e ao MEC pela concessão da bolsa de mestrado.*

*Aos pessimistas e descrentes, fica minha gratidão por cederem um parâmetro de como não agir.*

*Aos não citados, que de alguma forma me fizeram um ser humano melhor, fica o meu:*

**MUITO OBRIGADO!**



“Quem deseja ver o arco-íris, precisa aprender a gostar da chuva.”

*Paulo Coelho*



## RESUMO

A banana (*Musa cavendish*) é a fruta de maior produção e a segunda mais consumida do mundo. A tecnologia de sucos clarificados visando à produção de bases neutras é crescente em todo o globo e vem como alternativa viável, tanto comercialmente quanto nutricionalmente, para a substituição de néctares. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma base aromaticamente neutra e rica em açúcares e minerais a partir do suco de banana clarificado por microfiltração e desaromatizado por resinas poliméricas. A banana foi despulpada e submetida a tratamentos enzimáticos para determinar as melhores concentrações de enzimas (pectinase, celulase e amilase). Um planejamento experimental do tipo delineamento composto central rotacional (DCCR) foi elaborado tendo como respostas a densidade média de fluxo de permeado ( $J_p$ ) e viscosidade aparente ( $\mu$ ) da polpa. Notou-se ação negativa em relação à celulase e concentração ótima de 500 mg.L<sup>-1</sup> da enzima pectinase, não houve uma estabilidade na concentração de amilase. Um segundo DCCR foi proposto, desta vez, tendo como variáveis independentes a concentração de amilase e tempo de maceração, as variáveis dependentes permaneceram fluxo de permeado e viscosidade. Todos os experimentos desse segundo DCCR foram realizados com concentração fixa de 500 mg.L<sup>-1</sup> de pectinase. Determinou-se o tempo ótimo de maceração de 60 min, 500 mg.L<sup>-1</sup> e 1000 mg.L<sup>-1</sup> para concentração das enzimas pectinase e amilase, respectivamente. O fluxo médio de permeado predito pelos modelos foram de 141 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> e 147 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>. Durante a microfiltração determinou-se que a principal resistência ao fluxo de permeado foi a referente ao *fouling*. O suco clarificado foi submetido a tratamentos de desaromatização com resinas poliméricas XAD 4 e XAD 7, sendo esta última a de maior influência na redução de compostos voláteis. Notou-se uma redução significativa nos teores de açúcares e minerais (K, Mg, P e Ca). Entretanto, não houve redução significativa nos teores de sódio (Na). Ambas as resinas aumentaram o parâmetro de luminosidade (L\*), evidenciando assim que o tratamento de adsorção clarifica ainda mais o suco microfiltrado. Quanto à reologia, os modelos testados apresentaram bons ajustes aos dados experimentais exibindo valores de R<sup>2</sup>

variando entre 0,85 a 0,99. O suco microfiltrado apresentou comportamento newtoniano. Por sua vez a polpa de banana *in natura* e polpa tratada enzimaticamente apresentaram comportamento pseudoplástico se ajustando satisfatoriamente ao modelo de Herschell–Bulkley e à lei da potência, respectivamente. Pode-se, portanto, afirmar que existe viabilidade técnica na utilização de métodos combinados (pré-maceração enzimática, microfiltração e adsorção em resinas poliméricas) para elaboração de uma base aromáticamente neutra a partir da banana (*Musa cavendish*) com a finalidade de desenvolvimento e enriquecimento de bebidas.

**Palavras-Chave:** banana, suco clarificado, microfiltração, suco desaromatizado, desaromatização.

## ABSTRACT

The banana (*Musa cavendish*) is the most produced fruit in the world and the second most consumed. The technology of clarification of fruit juice aiming the production of neutral bases is growing all over the world and presents itself as a viable alternative, both commercially and nutritionally, to replace fruit nectars. The purpose of this research was the development of an aromatically neutral base rich in sugar and minerals from the clarified banana fruit juice, using microfiltration and deodorizing polymeric resins. The banana was pulped and submitted to enzymatic treatments to determine the optimal concentration of enzyme (pectinase, cellulase and amylase). An experimental testing using Response Surface Methodology (RSM) was elaborated aiming the average flow of the permeate ( $J_p$ ) and the apparent viscosity ( $\mu$ ) of the pulp, as the result. It was noticed negative action regarding the cellulase and optimal concentration of 500 mg.L<sup>-1</sup> regarding the pectinase enzyme. As second RSM was proposed, this time with the concentration of amylase and the maceration time as independent variables. All the experiments of the second RSM were performed with a fixed concentration of 500 mg.L<sup>-1</sup> of pectinase enzyme. It was determined that the optimal maceration time was 60 min and the optimal concentration of pectinase enzyme and amylase enzyme was, respectively, 500 mg.L<sup>-1</sup> and 1000 mg.L<sup>-1</sup>. The average flow density of the permeate was predicted by the statistical models as being 141 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup> and 147 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>. During the microfiltration it was determined that the main resistance to the permeate flow was the fouling. The clarified juice was submitted to treatment with deodorizing polymeric resins XAD 4 and XAD 7, being the XAD 7 more effective on the reduction of volatile compounds. It was noted a significant reduction on the content of sugar and minerals (K, Mg, P and Ca). However, there was no significant reduction in the amount of sodium (Na). Both resins increased the luminosity parameter (L\*), thus evidencing that the adsorption clarification treatment clarifies the microfiltrated fruit

juice even more. Regarding the rheology, the test models presented good adjustment to the experimental data, showing that  $R^2$  values vary between 0.85 and 0.99. The microfiltrated fruit juice presented itself as Newtonian fluid. The fresh banana pulp and the enzymatically treated pulp, on the other hand, presented themselves as a pseudoplastic fluid, adjusting very well to the Herschell–Bulkley) and Ostwald model, respectively. It is possible to affirm that it is technically feasible to elaborate an aromatically neutral base from banana (*Musa cavendish*) using the combination of the following methods at bench-scale: pre-enzymatic maceration, microfiltration and adsorption in polymeric resins, aiming the development and enrichment of beverages.

**Keywords:** banana, clarified juice, microfiltration, deodorized fruit juice, deodorization.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Graus de maturação da banana.....	31
<b>Tabela 2:</b> Composição de minerais de banana em 100g de parte comestível.....	32
<b>Tabela 3:</b> Exemplos de aplicação da MFT no segmento agroindustrial de sucos de frutas.....	37
<b>Tabela 4:</b> Modelos matemáticos utilizados para o estudo do comportamento reológico de fluidos não newtonianos.....	46
<b>Tabela 5:</b> Variáveis estudadas no primeiro planejamento experimental.....	49
<b>Tabela 6:</b> Variáveis estudadas no segundo planejamento experimental.....	50
<b>Tabela 7:</b> Matriz do primeiro planejamento experimental (valores codificados e reais) com “ $J_p$ ” e “ $\mu$ ” como respostas.....	62
<b>Tabela 8:</b> ANOVA para resposta de densidade de fluxo de permeado do primeiro planejamento experimental.....	64
<b>Tabela 9:</b> Matriz do segundo planejamento experimental (valores codificados e reais) com fluxo de permeado ( $J_p$ ) e viscosidade ( $\mu$ ) como respostas.....	68
<b>Tabela 10:</b> ANOVA para resposta de densidade de fluxo de permeado do primeiro planejamento experimental.....	70
<b>Tabela 11:</b> Valores de resistências ao fluxo permeado da resistência da membrana ( $R_m$ ), resistência do <i>fouling</i> ( $R_f$ ) e resistência da polarização por concentração ( $R_p$ ) em relação à resistência total ( $R_t$ ).....	74

**Tabela 12:**Resultados das análises de Viscosidade, Turbidez, e Cor (L\*,a\*,b\*) para suco de banana *in natura* (Amostra 1), suco de banana tratado enzimaticamente (Amostra 2), suco microfiltrado (Amostra 3) e sucos microfiltrados e tratados em resinas XAD 4, XAD 7 e XAD 4 - XAD7 (Amostra 4,5 e 6, respectivamente).....79

**Tabela 13:**Resultados de sólidos solúveis totais (S.S.T), açúcares totais, açúcares redutores (A.R) e não redutores (A.N.R) para suco de banana *in natura* (Amostra 1), suco de banana tratado enzimaticamente (Amostra 2), suco microfiltrado (Amostra 3) e sucos microfiltrados e tratados em resinas XAD 4, XAD 7 e XAD 4 - XAD7 (Amostra 4,5 e 6, respectivamente).....80

**Tabela 14:**Resultados da concentração de minerais (K, Mg, P, Ca e Na) para suco de banana microfiltrado (Amostra 1) e sucos microfiltrados e tratados em resinas XAD 4, XAD 7 e XAD 4 - XAD 7 (Amostra 2,3 e 4, respectivamente).....82

**Tabela 15:**Modelos matemáticos para o estudo reológico do suco de banana microfiltrado (Amostra 1), polpa *in natura* (Amostra 2) e polpa com tratamento enzimático (Amostra 3).....88

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa das regiões produtoras de banana.....	30
<b>Figura 2:</b> Graus de maturação da banana.....	31
<b>Figura 3:</b> Diagrama dos processos que utilizam diferença de pressão motriz.....	33
<b>Figura 4:</b> Esquema ilustrativo da filtração tipo dead-end (a) e cross-flow (b). $R_c$ é a resistência da torta formada na superfície da membrana, $R_m$ é a resistência da membrana e $J_p$ é o fluxo.....	34
<b>Figura 5:</b> Comportamento do fluxo permeado em função do tempo (a) Polarização da concentração; (b) Camada polarizada; (c) Incrustação.....	39
<b>Figura 6:</b> Representação das resistências ao transporte de massa no PSM.....	40
<b>Figura 7:</b> Representação esquemática do piloto de laboratório de microfiltração tangencial.....	51
<b>Figura 8:</b> Esquema da coluna de desaromatização.....	56
<b>Figura 9:</b> Gráfico de Pareto para densidade de fluxo de permeado ( $J_p$ ) no primeiro planejamento DCCR.....	63
<b>Figura 10:</b> Gráficos de superfície de resposta para densidade de fluxo de permeado ( $J_p$ ) envolvendo as concentrações de celulase.....	65
<b>Figura 11:</b> Gráficos de superfície de resposta: densidade média de fluxo de permeado ( $J_p$ ) com as variáveis independentes pectinase e amilase.....	66
<b>Figura 12:</b> Gráficos de superfície de resposta: viscosidade ( $\mu$ ) com as variáveis independentes celulase e amilase.....	66
<b>Figura 13:</b> Gráfico de Pareto para densidade de fluxo de permeado ( $J_p$ ) no segundo planejamento experimental.....	69

<b>Figura 14:</b> Gráficos de superfície de resposta para densidade média de fluxo de permeado ( $J_p$ ) do segundo planejamento experimental.....	71
<b>Figura 15:</b> Gráficos de superfície de resposta para viscosidade ( $\mu$ ) do segundo planejamento experimental.....	71
<b>Figura 16:</b> Curva da densidade de fluxo de permeado $J_p$ nas cinco pressões transmembrana estudadas, referentes a cada membrana, ( $Ptm_1$ , $Ptm_2$ , $Ptm_3$ e $Ptm_4$ ), e a pressão transmembrana média ( $Ptm$ média).....	73
<b>Figura 17:</b> Porcentagem da influência da resistência da membrana ( $R_m$ ), resistência da polarização por concentração ( $R_p$ ) e resistência do <i>fouling</i> ( $R_f$ ) no fluxo permeado .....	75
<b>Figura 18:</b> Curva de recuperação de fluxo permeado de água ( $J_w$ ) para o processo de microfiltração (MF) sem limpeza ( $J_{wp}$ S.L), após limpeza física ( $J_{wp}$ L.F) e após limpeza química ( $J_{wp}$ L.Q).....	76
<b>Figura 19:</b> Suco microfiltrado (1) e sucos microfiltrados tratados em resinas XAD 4, XAD 7 e XAD 4 - XAD7 (2,3 e 4 respectivamente).....	78
<b>Figura 20:</b> Cromatogramas de suco de banana (microfiltrado, microfiltrado - XAD4, microfiltrado - XAD7 e microfiltrado - XAD4:XAD7, respectivamente.....	84
<b>Figura 21:</b> Comportamento reológico para suco de banana microfiltrado, curvas ascendente e descendente.....	86
<b>Figura 22:</b> Comportamento reológico para polpa <i>in natura</i> de banana curvas ascendente e descendente.....	87
<b>Figura 23:</b> Comportamento reológico para polpa de banana tratada enzimaticamente, curvas ascendente e descendente.....	87

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

<b>Fluxograma 1:</b> Operações e processos da obtenção de suco base neutra de banana.....	48
---	----



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Banana .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Processos de separações por membrana (PSM) .....</b>	<b>32</b>
3.2.1	<i>Microfiltração tangencial (MFT).....</i>	35
3.2.2	<i>Fatores que limitam o PSM .....</i>	39
3.2.3	<i>Utilização de enzimas como pré-tratamento em sucos de frutas nos PSM .....</i>	41
<b>3.3</b>	<b>Desaromatização em resinas poliméricas.....</b>	<b>42</b>
<b>3.4</b>	<b>Reologia .....</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>Obtenção da polpa .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>Tratamento enzimático.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3</b>	<b>Microfiltração tangencial (MFT).....</b>	<b>50</b>
<b>4.4</b>	<b>Determinação das resistências ao escoamento através das membranas .....</b>	<b>53</b>
<b>4.5</b>	<b>Adsorção por resinas poliméricas.....</b>	<b>54</b>
<b>4.6</b>	<b>Análises Físico - Químicas.....</b>	<b>57</b>
4.6.1	<i>Turbidez .....</i>	57
4.5.2	<i>Cor.....</i>	57
4.5.3	<i>Sólidos solúveis totais (SST).....</i>	57
4.5.4	<i>Açúcares totais, redutores e não redutores.....</i>	57
4.5.5	<i>Minerais (K, Mg, P, Ca, Na).....</i>	58
4.5.6	<i>Cromatografia gasosa .....</i>	58
4.5.7	<i>Análises reológicas.....</i>	59
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>61</b>
5.1	<i>Tratamento enzimático e MFT.....</i>	61
5.2	<i>Determinação das resistências do sistema de MFT.....</i>	74
5.3	<i>Adsorção em resinas poliméricas (XAD 4 e XAD 7).....</i>	77
5.4	<i>Reologia.....</i>	86
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>6.1</b>	<b>Sugestão de trabalhos futuros .....</b>	<b>92</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>93</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A banana é a segunda fruta mais consumida no planeta, com 11,4 kg/hab/ano, inferior a laranja, com 12,2 kg/hab/ano. O continente americano é o maior consumidor, com 15,2 kg/hab/ano, destacando-se a América do Sul, com 20 kg/hab/ano e a América Central, com 13,9 kg/hab/ano(FAO, 2013).

A banana ocupa a maior produção de frutos do mundo, valor estimado em 106 milhões de toneladas, contribuindo o Brasil com 7 milhões de toneladas (6,9%). Os maiores produtores de banana no país são: Bahia (88.147 hectares), Pará (55.152 hectares), São Paulo (54.834 hectares) e Minas Gerais (46.812 hectares) (IBGE, 2015).

Sucos, néctares, bebidas não carbonatadas e tecnologias adjacentes que utilizam matéria prima proveniente de frutos tropicais, associam uma base desaromatizada (neutra) como insumo secundário em suas formulações, tendo como objetivo suprir os grandes nichos de mercado como o norte-americano e europeu. Atualmente a maçã, é largamente utilizada em todo o mercado global como fonte natural de açúcares, comumente, está sendo utilizada como matéria prima desse insumo.

O uso de sucos clarificados como uma base neutra para a formulação de *blends* com frutas de alto valor comercial agregado é crescente no mercado global de bebidas formuladas para o consumo. Nessas bebidas formuladas utiliza-se uma base descaracterizada de sabor e aroma, neutra, tendo a finalidade de aumentar o valor nutricional, inserindo, assim, uma qualidade natural em relação aos néctares de frutas, pois a diluição responsável pela elaboração de néctares comprometem os valores nutricionais dessas bebidas.

Existe uma tendência mundial de se utilizarem bases concentradas e desaromatizadas de frutas cuja cultura apresenta uma alta capacidade produtiva no meio agrícola e estas bases têm como forte apelo comercial o fato de que um produto fabricado com estas bases neutras pode ser caracterizado como um suco integral reconstituído, onde não foram incorporados açúcares do tipo C<sub>4</sub>, que caracteriza os açúcares obtidos de gramíneas tipo milho ou cana, constituindo-se apenas de açúcares do tipo C<sub>3</sub>, típico de frutas. Estes açúcares são atualmente determinados pela relação dos isótopos estáveis relacionados ao metabolismo de cada tipo de planta, determinando assim possibilidades de fraudes de sucos de frutas com uso de açúcares de gramíneas.

Os meios tecnológicos utilizados para produção de base neutra a partir de sucos surgiu da necessidade mundial de bebidas de frutas por produtos de maior qualidade nutricional e sensorial. Os nutrientes presentes na composição nutricional do suco responsável pelas características desejáveis de sabor aroma e a base rica em açúcares, além de vitaminas hidrossolúveis e minerais, neste caso se complementam, sem a necessidade de uso de açúcares de outras fontes. Classificando, assim, o produto final como *blend* de sucos naturais, e não um néctar.

Existem algumas barreiras e empecilhos comerciais de cunho internacional, como o caso da Comunidade Europeia, que regulamenta a comercialização e consumo de sucos e néctares. Tais empecilhos estão relacionados aos níveis de taxaço de impostos sobre néctares que variam de 17 a 23 %, por sua vez nossosucos mistos e/ou integrais tais taxaçoes variam entre 3 a 4% (NETO, 2016).

Em termos mundiais, a maçã e o pêssego vêm dominando o suprimento de sucos em base neutra para a formulaço de blends, tendo a China e Canadá a prevalência neste sentido. No entanto, visando o uso de frutas tropicais para esta finalidade, a Embrapa Agroindústria Tropical vem adotando em suas linhas de pesquisas neste ramo o uso de frutas de alta produtividade, destacando-se aqui o caju, a banana e o melão. Sob a ótica de suprimento contínuo pode-se destacar a banana como o principal, visto que esta possui safras bem distribuídas em todos os meses do ano, contrastando com o caju que sofre uma grande sazonalidade e perecibilidade, com safras muito significativas apenas no segundo semestre do ano e ficando cerca de seis a oito meses sem produção agrícola e o melão, que devido aos altos preços praticados no mercado *in natura*, tanto nacional como internacional, apenas o excedente de comercializaço nesta forma poderá ser direcionado para a finalidades de produção de bases neutras.

Um outro aspecto relevante em relação ao uso da banana como matéria-prima para a produção de sucos concentrados em base neutra é o teor de sólidos solúveis na fruta em pleno estágio de maturaço, onde esta se destaca com um °Brix inicial de aproximadamente duas vezes ao caju e ao melão de descarte do mercado *in natura*, facilitando assim a concentraço até valores condizentes com as exigências dos mercados deste tipo de produto, que se situam na faixa de 60 a 65 °Brix.

Portanto, o uso de bases neutras a partir de frutas de alta produção industrial como a banana, que é a proposta central deste trabalho, está de acordo com a procura e necessidade mundial por alimentos mais nutritivos e de qualidade.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um processo de obtenção do suco clarificado/desaromatizado de banana (*Musa cavendish*) a ser utilizado como base aromática neutra para a elaboração de bebidas mistas com propriedades energética e repositora hidroeletrolíticas para elaboração de sucos de alto valor agregado.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o efeito do pré-tratamento enzimático da polpa de banana sobre a eficiência do processo de clarificação por membranas de microfiltração.
- b) Determinar as resistências limitantes da membrana ao fluxo de permeado.
- c) Definir os parâmetros tecnológicos para o tratamento de desaromatização em colunas de adsorção em resinas poliméricas do suco de banana clarificado por microfiltração.
- d) Avaliar o desempenho do método combinado (Microfiltração + Adsorção) quanto ao teor de açúcares e minerais.
- e) Avaliar o efeito do tratamento do suco de banana por adsorção em resinas sobre o perfil aromático, por cromatografia gasosa.
- f) Determinar o comportamento reológico das frações obtidas.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Banana

Originária da Ásia, a banana é um símbolo de tropicalidade. A expansão do islã levou a fruta ao Mediterrâneo e, em seguida, ela foi difundida na África. Nos séculos XV e XVI, os portugueses já cultivavam bananas na Ilha da Madeira e na costa ocidental africana, hoje usada em muitas línguas. As primeiras mudas foram trazidas para o Brasil das Ilhas São Tomé e Príncipe (MIRANDA, 2007).

Dentro da classe das monocotiledôneas, o gênero *Musa* faz parte da família Musáceae, da qual fazem partes inúmeras outras plantas de características semelhantes à banana.

O gênero *Musa* tem cerca de 40 espécies, sendo *Musa acuminata* e *Musa balbisiana* as espécies selvagens de banana, por sua vez todas as variedades comestíveis conhecidas são derivadas de tais espécies. Embora as duas espécies de *Musa* selvagens sejam diploides, nem todas têm o mesmo número de cromossomos. Quase todos os cultivares de bananas são poliploides, derivados da hibridização de *Musa acuminata* e *Musa balbisiana* (SULAIMAN *et al.*, 2011).

A origem do termo *Musa*, criado pelo botânico Carl Von Linneu, não é muito clara, podendo ser uma derivação da palavra árabe Mouz, ou então uma homenagem prestada ao médico do imperador romano Augusto, que se chamava Antonio Musa. Conforme Grigson, o botânico (1999, p.77): “(...) tirou *musa* da palavra árabe Mouz, banana, derivada do sânscrito *moka*”.

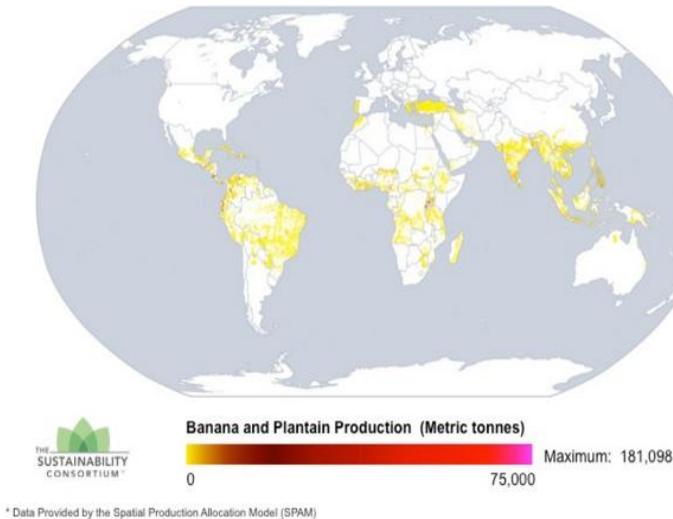
A banana é a segunda fruta mais consumida no planeta, com 11,4 kg/hab/ano, perdendo apenas para a laranja, com 12,2 kg/hab/ano. O continente americano é o maior consumidor, com 15,2 kg/habitantes/ano, destacando-se a América do Sul, com 20 kg/habitantes/ano e a América Central, com 13,9 kg/habitantes/ano. A Índia lidera a produção de banana no ranking mundial, sendo responsável por 28,1%. A China, com 10,1%, vem em segundo lugar, seguida pelas Filipinas, com 8,6%; Equador, com 7%; Brasil, com 6,9%; e Indonésia, com 5,8%. (FAO, agosto de 2013).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015) a banana, no ranking mundial, ocupa a maior produção de frutos do mundo, valor estimado em 106 milhões, contribuindo o Brasil com 7 milhões (6,9%). Os maiores produtores de bananas no país são: Bahia

(88.147 hectares), Pará (55.152 hectares), São Paulo (54.834 hectares) e Minas Gerais (46.812 hectares).

De acordo com Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2015) as bananas mais produzidas no Brasil são as de mesa, como nanica, prata, ouro e maçã, sendo a nanica a mais consumida, e 95% da produção de bananas do paísé destinado ao mercado interno.

Figura 1. Mapa das regiões produtoras de banana no mundo.



Fonte: The Sustainability Consortium.

As variedades de banana disponíveis no mercado diferem principalmente em relação às características do seu cultivo. No mercado brasileiro, os cultivares de maior demanda são da *Musa cavendishii* (nanica, nanição e grand naine), prata, maçã, branca e ouro (*Musa sapientum*), sendo outras variedades encontradas em menor frequência, como: Pacovã (*Musa corniculata*) e da Terra (*Musa paradisiaca*) (SEBRAE, 2008).

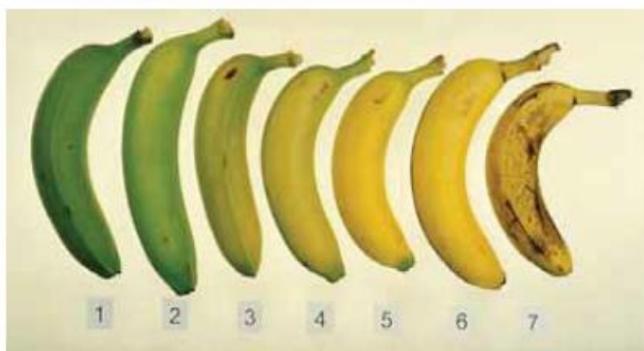
A composição da banana varia de acordo com a espécie, região, clima, solo. Os graus de maturação de 1 a 7 estão expressos na Tabela 1 e Figura 2.

Tabela 1. Graus de maturação da banana.

GRAU DE COLORAÇÃO	COR DA CASCA
1	Verde
2	Verde, traços amarelos
3	Mais verde que amarelo
4	Mais amarelo que verde
5	Amarelo, pontas verdes
6	Totalmente amarelo
7	Amarelo com leves manchas marrons

Fonte: CHITARRA e CHITARRA, 1984; CORAZZI *et al.*, 1989; MEDINA *et al.*, 1978. (apud GODOY, 2010, p.16)

Figura 2. Graus de coloração da casca da banana.



Fonte: Adaptação da CIÊNCIA DE AGRICULTOR, 2014.

Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), a banana fornece, em média, 100 calorias por 100 gramas de polpa (UNICAMP, 2011). A Tabela 2 apresenta valores de alguns minerais de algumas variedades de banana, compendiados pela TACO.

Tabela 2. Composição de minerais de banana em 100g de parte comestível.

Mineral (mg/100g)	Figo	Maçã	Nanica	Ouro	Prata	Terra
<b>Cálcio</b>	6	3	3	3	8	4
<b>Magnésio</b>	30	24	28	28	26	24
<b>Manganês</b>	0,2	0,60	0,14	0,09	0,42	0,16
<b>Fósforo</b>	16	29	27	22	22	26
<b>Ferro</b>	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3
<b>Potássio</b>	387	264	376	355	358	328
<b>Cobre</b>	0,06	0,11	0,10	0,08	0,05	0,05
<b>Zinco</b>	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2

Fonte: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, UNICAMP, 2011.

### 3.2 Processos de Separações por Membranas (PSM)

O primeiro registro que se tem notícia sobre um estudo referente aos fenômenos decorrentes de processos com membranas data de 1748 e foi realizado por Nolet, um abade Francês, que em seu experimento utilizou uma bexiga de origem animal, como meio filtrante (HABERT *et al.*, 2006).

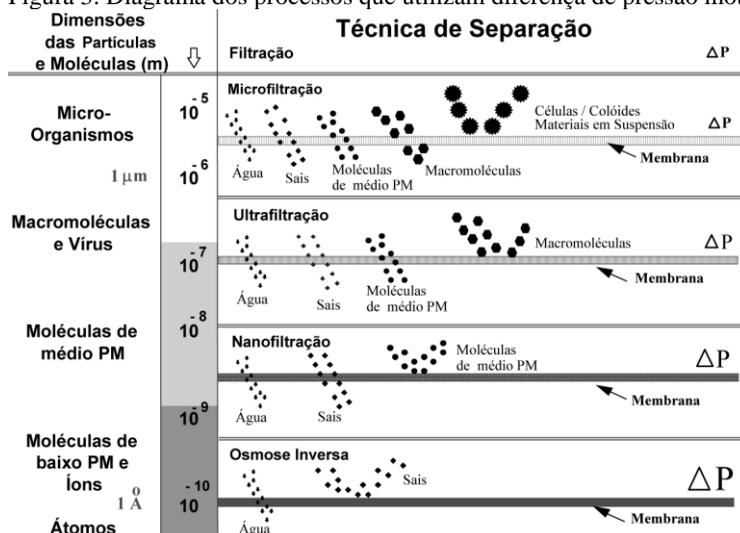
A tecnologia de membranas é uma alternativa aos processos convencionais de separação (clarificação e concentração) de sucos. Tal tecnologia é amplamente aplicada nas indústrias de leite e de bebidas desde a descoberta das membranas assimétricas feita por Loeb e Souriragin em meados de 1960 (D'SOUZA; MAWSON, 2005). Uma nova categoria de processos utilizando membranas sintéticas como barreira seletiva, separando duas fases de uma solução foi introduzido nos processos industriais, em complemento aos processos tradicionais de separação, isso ocorreu no início de 1970 (MULDER, 1996).

Nos processos de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa a força motriz é a pressão. Nos processos de evaporação osmótica e pervaporação a força motriz é a diferença de concentração (RODRIGUES, 2002; HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006).

A microfiltração a ultrafiltração a osmose inversa são, entre os processos com membranas, os de maior interesse para indústria de alimentos, logo os mais utilizados. São bem numerosas as aplicações da microfiltração na indústria alimentícia, como por exemplo, a clarificação de sucos e retenção de solutos macromoleculares por concentração, cerveja, vinho, gelatina, vinagre, entre outros (HORST e HANEMAAIJER, 1990).

A Figura 4 apresenta resumidamente um diagrama esquemático dos PSM que utilizam o gradiente de pressão como força motriz. A osmose inversa por ter seu mecanismo de ação diferenciado, sendo o mesmo por sorção e difusão, necessita, portanto de pressões operacionais bem mais elevadas que os processos baseados na separação por tamanho (microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração) (ZEMAN e ZYDNEY, 1996).

Figura 3. Diagrama dos processos que utilizam diferença de pressão motriz.



Fonte:

HABERT *et al.*, 2000.

Diante às inúmeras vantagens inerentes ao PSM, é visto um mercado crescente para tais processos. Algumas destas vantagens são as utilizações de baixas temperaturas, alta seletividade, preservação de compostos termolábeis, simplicidade de operação e de escalonamento em menores gastos energéticos (CASSANO; DONATO; DRIOLI, 2007; HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006; MULDER, 2000; ORDÓNEZ *et al.*, 2005).

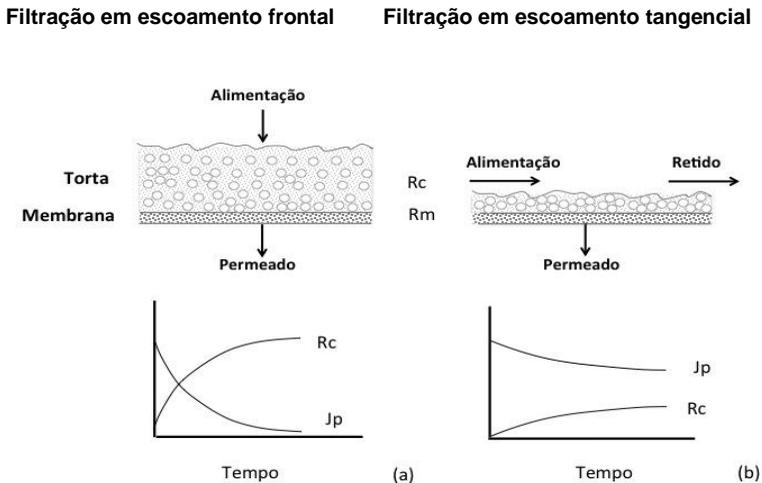
De uma forma simples o PSM consiste no bombeamento de uma solução sob pressão através da superfície da membrana. A Figura 5 ilustra os tipos de filtração existentes, que são:

1. *Dead-end* ou filtração estática: o fluido esco perpendicularmente à membrana favorecendo o depósito de material particulado na superfície desta, necessitando

então que o processo seja interrompido para a limpeza ou substituí-se a membrana em maior frequência.

2. *Cross-flow* ou filtração tangencial: a solução ou suspensão escoam paralelamente à superfície da membrana, enquanto o permeado é transportado transversalmente a esta (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

Figura 4: Esquema ilustrativo da filtração tipo dead-end (a) e cross-flow (b).  $R_c$  é a resistência da torta formada na superfície da membrana,  $R_m$  é a resistência da membrana e  $J_p$  é o fluxo.



Fonte: Adaptado de CHERYAN, (1998).

Os principais processos utilizados com membranas são dessalinização de água do mar, controle de poluição, nas aplicações em indústria de alimentos destacam-se, clarificação de suco de frutas e outras soluções para um futuro processamento, emulsões óleo-água, produção de derivados de leite, esterilização de bebidas como cerveja e vinho, além outras aplicações na biotecnologia como purificação e remoção do soro do leite (bioproduto) e esterilização de fármacos (MULDER, 2000; BAKER, 2004; BALDASSO, 2008).

O fluxo permeado é um dos principais parâmetros utilizados para caracterização dos processos de separação por membranas. O fluxo permeado ( $L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ ) é definido como a vazão de fluido permeado por unidade de área da membrana (Equação 1) (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

$$J = \frac{V_p}{t \cdot A_p} \quad (1)$$

Sendo: ( $V_p$ ) é o volume de permeado em um determinado tempo ( $t$ ) e ( $A_p$ ) é a área de permeação.

Quando os efeitos da polarização por concentração forem mínimos o fluxo permeado será afetado positivamente pela ação da pressão transmembrana ( $P_T$ ). Após um determinado valor de pressão o fluxo de permeado passa a ser controlado pelo efeito de transferência de massa. Além disso, o efeito positivo sobre o fluxo de permeado também é observado em elevada velocidade tangencial e menor concentração de alimentação (CHERYAN, 1998).

### 3.2.1 Microfiltração tangencial (MFT)

Na microfiltração são utilizadas membranas porosas, com poros na faixa de 5 a  $0,05 \mu m$ , sendo, portanto, indicada para retenção de materiais em suspensão e emulsões. Como as membranas são relativamente abertas, as pressões empregadas para o transporte são pequenas e dificilmente ultrapassam 3 bar, na MFT o solvente e todo o material solúvel permeiam a membrana, sendo chamado de permeado, e o material em suspensão fica retido na membrana, sendo chamado de retido (MULDER, 1996; CHERYAN, 1998; HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006). Na indústria de alimentos, a microfiltração é utilizada na clarificação de bebidas e na filtração esterilizante de soluções sensíveis ao calor devido à sua excelente retenção de microrganismos (CARNEIRO *et al.*, 2000; MATTA, CABRAL e SILVA, 2004).

No processamento de sucos de frutas, o uso dos processos de separação por membranas, entre eles a microfiltração, possibilita a operação em baixas temperaturas, contribuindo para a preservação de compostos termosensíveis das frutas, tais como algumas vitaminas e compostos fenólicos, além das substâncias responsáveis pelas

características sensoriais dos sucos (CASSANO *et al.*, 2003; VAILLANT *et al.*, 2005).

Durante a microfiltração de sucos de frutas, tanto o suco clarificado quanto a fração retida na membrana são importantes, pois ambas apresentam composição química similar à do suco original e contêm compostos de interesse nutricional e funcional, . Cada uma delas possui aplicações específicas e podem ser utilizadas na elaboração de diferentes produtos (CIANCI *et al.*, 2005; PENHA *et al.*, 2001).

Não são observadas diferenças significativas entre os processos de microfiltração e ultrafiltração, a não ser pelo menor diâmetro de poros das membranas de ultrafiltração e maior pressão normalmente utilizada para se promover a separação ou concentração de macromoléculas (PETRUS, 1997).

Tabela 3. Exemplos de aplicação da MFT no segmento agroindustrial de sucos de frutas.

<b>Produtos (suco)</b>	<b>Características da membrana material/geometria/superfície (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Diâmetro do poro (µm)</b>	<b>Pressão (bar)</b>	<b>Tem. (°C)</b>	<b>Velocidade tangencial (m/s)</b>	<b>FRV</b>	<b>Fluxo (J) (L/h/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Referência</b>
<b>Caju</b>	Cerâmica/tubular/0,22	0,2	2,0	30	6,0	1,0	46 75	(ABREU <i>et al.</i> , 2005)
<b>Maracujá</b>	Cerâmica/tubular multicanal/0,48	0,2	1,5	36	7,0	1,0	40	(VAILLANT <i>et al.</i> , 1999)
<b>Amora</b>	Cerâmica/tubular multicanal/0,22	0,2	1,5	25	5,0	8,0	70	(VAILLANT <i>et al.</i> , 2008)
<b>Acerola</b>	Polipropileno/tubular/0,05	0,3	1,0	30	6,0	2,8	26	(MATTA <i>et al.</i> , 2004)
<b>Umbu</b>	Polipropileno/tubular/0,038	0,2	1,0 2,0	35 35	4,0 4,0	22 22	48 66	(USHIKUBO <i>et al.</i> , 2007)
<b>Melão</b>	Cerâmica/tubular/0,22	0,2	1,5	35	7,0	3,0	75	(VAILLANT <i>et al.</i> , 2005)
<b>Laranja</b>	Cerâmica/tubular/0,22	0,2	4,0	20	7,0	3,5	62	(CISSE <i>et al.</i> , 2005)
<b>Manga</b>	Cerâmica/tubular/0,48	0,2	1,5	30	7,0	1,3	60	(VAILLANT <i>et al.</i> , 2001)

Tabela 3. Exemplos de aplicação da MFT no segmento agroindustrial de sucos de frutas.

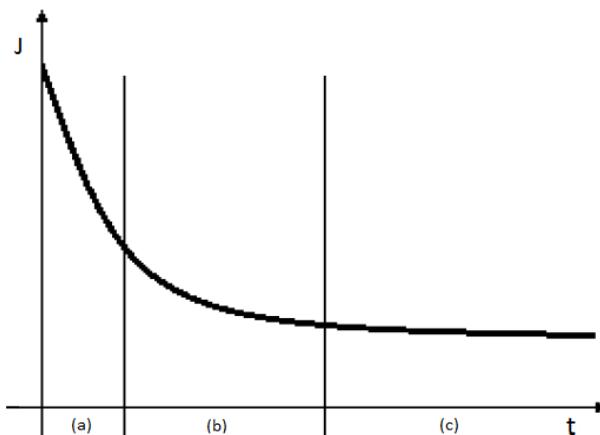
<b>Produtos (suco)</b>	<b>Características da membrana material/geometria/superfície (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Diâmetro do poro (µm)</b>	<b>Pressão (bar)</b>	<b>Tem. (°C)</b>	<b>Velocidade tangencial (m/s)</b>	<b>FRV</b>	<b>Fluxo (J) (L/h/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Referência</b>
<b>Melancia</b>	Acetato de celulose/tubular/0,035	0,2	2,0	30	4,0	1,0	27	(RAI <i>et al.</i> , 2010)
<b>Tamarindo</b>	Polipropileno/tubular/0,038	0,2	0,5 1,0	35 35	4,0 4,0	2,0	87 98	(WATANABE <i>et al.</i> , 2006)
<b>Uva</b>	Cerâmica/fibra oca/0,75	0,2	2,0	35	2,33	1,0	30	(REKTOR; VATAI, 2004)
<b>Romã</b>	PVDF/plana/0,013	0,2	0,5	35	2,0	1,0	5	(MIRSAEED GHAZ <i>et al.</i> , 2010)
<b>Açaí</b>	Cerâmica/tubular/0,22	0,1	2,0	25	2,0	3,0	10	(CORRÊA <i>et al.</i> , 2010)
<b>Cereja</b>	Cerâmica/tubular/0,1	0,14	2,0	30	3,0	1,0	50	(WANG <i>et al.</i> , 2005)
<b>Tomate</b>	PVDF/plana/0,04	0,45	3,0	50	1,5	1,0	12	(RAZI <i>et al.</i> , 2012)
<b>Abacaxi</b>	Polissulfona/Fibra oca/0,011	0,2	1,0	20	1,2	1,0	24	(LAORKO <i>et al.</i> , 2010)

### 3.2.2 Fatores que limitam os PSM

Durante os processos de separações por membranas pode-se observar uma redução no fluxo permeado (SABLANI *et al.*, 2001). De acordo com Mulder (2000) a redução do fluxo permeado depende diretamente do tipo de membrana e do fluido de alimentação utilizado.

A redução no fluxo permeado é representada por uma curva, como ilustrada na Figura 5. Tal redução pode ser descrita em três estágios, no primeiro estágio (a) tem-se uma rápida redução do fluxo de permeado devido à polarização por concentração. Nesse estágio a perda do fluxo permeado é reversível. No segundo estágio (b), o fluxo decai em função do *fouling* ocasionado pela adsorção de componentes da membrana e bloqueio dos poros. O segundo estágio varia de acordo com o diâmetro do poro da membrana e a perda de fluxo permeado, diferentemente do primeiro estágio, é irreversível. No terceiro estágio (c) o fluxo permeado passa a cair mais lentamente, conclui-se que nesse estágio ocorre a consolidação do *fouling* em um estágio denominado pseudo-estacionário. (MARSHALL; DAUFIN, 1955; GIRARD; FUKUMOTO, 2000).

Figura 5: Comportamento do fluxo permeado em função do tempo (a) Polarização da concentração; (b) Camada polarizada; (c) Incrustação.

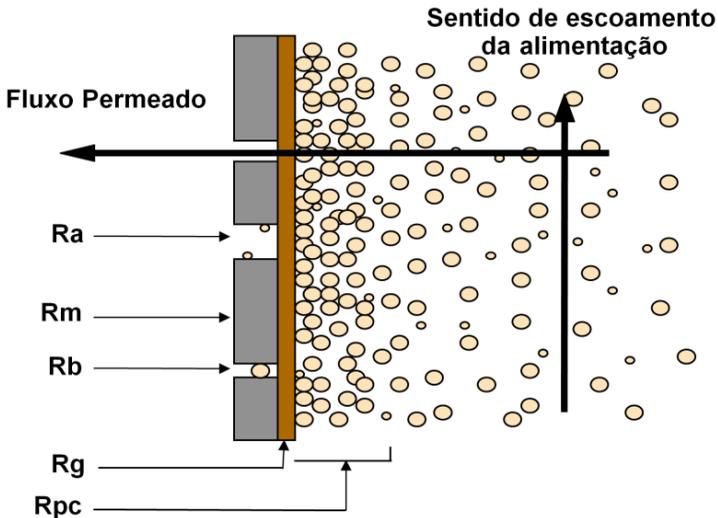


Fonte: Adaptado de MULDER, (2000).

Além disso, temos a resistência oferecida pela membrana. Como consequência da polarização por concentração, camada polarizada e da incrustação, o fluxo irá diminuir através da membrana em relação ao fluxo permeado da água (solvente puro), demonstrando resistências do processo.

Quanto menor for a espessura da membrana menor será a sua resistência e maior será a taxa de permeação (MULDER, 2000). A Figura 6 demonstra as diferentes resistências encontradas nos processos de separação por membrana

Figura 6: Representação das resistências ao transporte de massa no PSM.



Fonte: (adaptado de HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

A resistência total é o somatório de todas as resistências adicionais a membrana, Equação 2.

$$R_t = R_a + R_m + R_b + R_g + R_{pc} \quad (2)$$

onde:  $R_a$  a resistência devido à adsorção;  $R_m$  a resistência da membrana;  $R_b$  a resistência devido ao bloqueio físico de poros;  $R_g$  a resistência

devido à formação de uma camada gel;  $R_{pc}$  a resistência devido ao fenômeno de polarização de concentração.

### **3.2.3 Utilização de enzimas como pré-tratamento em sucos de frutas nos PSM**

No Brasil, o uso de enzimas, em escala industrial, tornou-se recorrente no processamento de sucos de frutas, principalmente na produção de sidras, vinhos e sucos de pera e maçã (VANTAGENS, 2012).

As enzimas pectinase, poligalacturonase e celulase são comumente empregadas no processamento de sucos para aumentar o rendimento, degradando polissacarídeos que interferem na extração, filtração, clarificação e concentração dos sucos. Nos processos de clarificação de sucos de frutas por membranas, os pré-tratamentos utilizando enzimas conferem aumento acentuado aos fluxos de permeado. A diminuição no fluxo se deve ao entupimento da membrana por complexos com altas massas moleculares como pectinas (RUTLEDGE, 1997; BARROS, 2002; CAUTELA *et al.*, 2010).

Paula *et al.* (2004) testaram a utilização de enzimas (pectinase, amilase e celulase) para melhorar a clarificação de suco de maracujá e obtiveram um suco de elevada qualidade sensorial e microbiológica utilizando a microfiltração com membrana tubular de tamanho médio de poro de 0,3  $\mu\text{m}$  e pressão transmembrana de 1,5 bar.

Santín (2004) estudou a aplicação de tratamento enzimático combinado à microfiltração na clarificação de suco de pêsego. Os melhores resultados obtidos mediante as enzimas estudadas foi da pectinase em concentração de 960 ppm, a 25 °C durante 60 min, que promoveu a redução de 48 % do teor de polpa e de 68% da viscosidade do suco.

Vaillant *et al.* (2005) maceraram o suco de melão antes da microfiltração com a solução enzimática Rapidase®, a 35 °C durante 60 min. Após o tratamento enzimático o fluxo permeado atingiu a 75 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>.

Watanabe (2007) avaliou a influência do tratamento enzimático na microfiltração de suco de tamarindo por membrana polimérica. A utilização de 100 ppm de enzima com atividade poligalacturonase a 35 °C durante 60 min resultou em redução de 58 % no teor de pectina, melhorando o fluxo de permeado.

Kaster (2009) utilizou as enzimas comerciais Pectinex® Mash e Amilase AMG 300L com atividades pectinolítica e amilolítica, respectivamente, e estudou os efeitos das condições operacionais da microfiltração do suco de maçã. Verificou-se um aumento de 27,2 % em relação ao fluxo do suco de maçã não tratado enzimaticamente.

Castro, Abreu e Carioca (2007) estudaram o efeito da clarificação da polpa de caju *in natura* e da polpa hidrolisada utilizando o processo de microfiltração. A utilização de enzima com atividade depoligalacturonase não alterou o fluxo de permeado, em alguns casos observou-se até diminuição dos valores desse parâmetro. Utilizando a enzima comercial Clarex®, que possui predominantemente atividade pectinolítica, na concentração de 0,025 % (v/v) durante 60 min à temperatura de 30 °C, utilizada como prétratamento de suco de caju para microfiltração, influenciou em um aumento de aproximadamente 40 %, no fluxo de permeado, em relação ao suco sem o tratamento enzimático.

### 3.3 Desaromatização por adsorção em resinas poliméricas

Adsorção pode ser definida como o acúmulo de um ou mais componentes em uma camada interfacial, ou seja, é um processo de transferência de um ou mais constituintes de uma fase fluida ou gasosa para a superfície de uma fase sólida. Dessa forma a adsorção se caracteriza pela tendência de acumulação de uma substância sobre a superfície de outra. Denomina-se adsorvente o sólido sobre o qual ocorre o fenômeno de adsorção e adsorbato a espécie química retida pelo adsorvente (ANTÔNIO, 2003).

O termo resina refere-se a uma estrutura complexa formada por unidades monoméricas constantes, ligadas em uma estrutura semelhante a uma rede. Os feixes destas redes são interligados transversalmente por meio de monômero funcional formando uma esfera (*bead*) de tamanho padronizado (MARQUARDT e LIMA, 2001). No processo de adsorção a resina constitui o adsorvente capaz de reter e acumular constituintes compatíveis.

Atualmente, existem vários tipos de resinas poliméricas, a série Amberlite tem sido muito usada na remoção de substâncias e de compostos polares, apolares, não aromáticos e aromáticos (SZUROMI *et al.*, 2008).

Em 1962 a empresa Rohm and Haas anunciou a criação de suas primeiras resinas poliméricas e cinco anos depois teve início a comercialização do primeiro adsorvente polimérico chamado Amberlite. Os suportes mais usados para adsorção de reagentes orgânicos têm sido as resinas não iônicas designadas XAD's (HUBBARD; FINCH; DARLING, 1998).

A Amberlite XAD 4 é um adsorvente polimérico, comercializado como grânulos brancos insolúveis. É um polímero de ligação cruzada não iônico que deriva as propriedades adsorventes da sua estrutura macro reticulada, a qual possui tanto uma fase superficial contínua como uma fase porosa. Esta estrutura confere à XAD 4 uma excelente característica física adsorvente como também uma estabilidade química e térmica. Ela pode ser utilizada em ciclos repetidos no modo de coluna para adsorver moléculas hidrofóbicas de solventes polares ou compostos orgânicos voláteis de fases gasosas. Sua característica de distribuição de tamanho de poros a torna uma excelente escolha para a adsorção das substâncias orgânicas de massa molecular relativamente baixo (ROHM AND HASS COMPANY, 2001).

A resina Amberlite XAD 7 é um polímero acrílico adsorvente, alifático, não iônico, formado como esferas brancas insolúveis. Suas propriedades adsorptivas são provenientes de sua estrutura macro reticular, constituída de uma fase polimérica e outra porosa, assim como de sua grande área superficial de natureza alifática. A estrutura macro reticular também confere à XAD-7 uma excelente estabilidade física e térmica. Em função de sua natureza alifática ela pode adsorver compostos não polares de sistemas aquosos, assim como compostos polares de solventes apolares. Ela pode ser utilizada na faixa de pH 0 a 14 e no máximo a uma temperatura de 100°C (SHEET, 2003).

Tressl e Jennings (1972) identificaram que os principais constituintes do aroma de banana são: acetato de etila, etanol, acetato de propila, acetato de isobutila, etil butirato, isobutil butirato, 3-metil-butilacetato (isoamilacetato ou acetato de isoamila).

Os componentes voláteis do caju (*Anacardium occidentale*) da variedade *nanum* na forma livre e ligada, foram isolados por meio de extração - destilação simultânea e adsorção em resina adsorvente Amberlite XAD 2 (BICALHO *et al.*, 2000).

O suco microfiltrado e fermentado de noni (*Morinda citrifolia*) foi submetido à desaromatização utilizando resinas adsorventes da série Amberlite®, XAD4, XAD-761, FPA54 e FPX66. A resina XAD 4 foi a que causou maior remoção de compostos voláteis e também a menor

perda de nutrientes como vitamina C e fenólicos totais (CORREIA *et al.*, 2012).

O suco microfiltrado de melão foi desaromatizado utilizando resinas adsorventes XAD 4 e XAD 7, a resina XAD 7 obteve-se melhores resultados onde os compostos 1-octanol e 3-metilpropanal foram detectados no suco de melão clarificado e concentrado, enquanto que o pentilfurano foi novamente identificado no suco de melão clarificado desaromatizado e concentrado (NETO, 2016).

### 3.4 Reologia

A reologia é definida como sendo a ciência que estuda a resposta de um material à aplicação de uma tensão ou deformação (TABILOMUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

A viscosidade é um parâmetro essencial para alimentos, pois esta quantifica a resistência do fluido ao escoamento, quando se aplica uma taxa de deformação (BHATTACHARYA, 1997). As propriedades reológicas devem ser compreendidas para projeção de equipamentos, desenvolvimento de novos produtos, e estudo de processos (AICHINGER *et al.*, 2003; MASSON, 2011).

Os alimentos, por possuírem uma estrutura complexa e uma composição variável, apresentam comportamento reológico variado. O conhecimento das propriedades reológicas de alimentos é de grande importância já que estas propriedades possuem várias aplicações nos processos de controle de qualidade e nos projetos de bombas, tubulações, trocadores de calor, tanques de mistura (TABILOMUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; TORALLES; VENDRUSCULO; VENDRUSCULO, 2006).

Os fluidos são classificados, de acordo com seu comportamento reológico, como newtonianos ou não newtonianos. Fluidos newtonianos são caracterizados por uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação exercida, dependendo exclusivamente da temperatura e da composição do fluido. A viscosidade do fluido é constante, sob qualquer taxa de deformação (Equação 3), com uma temperatura fixa (HOLDSWORTH, 1993; SILVA, 2000). Leite, sucos de frutas clarificados, vinhos e água são exemplos de alimentos com propriedades de um fluido newtoniano (HOLDSWORTH, 1971; SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000).

$$\tau = \mu\gamma \quad (3)$$

Sendo:  $\tau$  é a tensão de cisalhamento (N.m<sup>-2</sup> ou Pa);  $\mu$  a viscosidade absoluta ou dinâmica (Pa.s) e  $\gamma$  a taxa de deformação (s<sup>-1</sup>).

O termo viscosidade ( $\mu$ ) é utilizado para fluidos newtonianos. Para fluidos não newtonianos é utilizado o termo “viscosidade aparente” ( $\mu_a$ ), que é a razão entre a tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) e a taxa de deformação ( $\gamma$ ), Equação 4.

$$\mu_a = \frac{\tau}{\gamma} \quad (4)$$

Sendo:  $\mu_a$  é a viscosidade aparente (Pa.s).

Os fluidos não newtonianos podem ser classificados em dois grupos, independentes e dependentes do tempo (EGAWA, 2007). Dentro do grupo dos independentes do tempo tem-se uma subdivisão em fluidos dilatantes, pseudoplásticos e plásticos de Bingham (SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000). Os fluidos dependentes do tempo, onde a viscosidade depende do tempo de escoamento e da taxa de deformação, são divididos em tixotrópicos e reopéticos (HOLDSWORTH, 1993; MACHADO, 2002; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA CÁNOVAS, 2005).

Os modelos de Ostwald de Waale (Lei da Potência), de Herschel-Bulkley e Bingham, são utilizados para descrever o comportamento de sucos e polpas de frutas. O modelo de Herschel-Bulkley e de Bingham se diferenciam da lei da potência pela inclusão do parâmetro de tensão inicial de cisalhamento ( $\tau_0$ ) e  $n_h$  no caso do Herschel-Bulkley, Tabela 4. (HOLDSWORTH, 1993).

Tabela 4: Modelos matemáticos utilizados para o estudo do comportamento reológico de fluidos não newtonianos.

Modelo	Equação
<b>Ostwald de Waale (Lei da Potência)</b>	$\tau = K \gamma^n$
<b>Herschell-Bulkley</b>	$\tau = \tau_0 + K_h \gamma^{n_h}$
<b>Bingham</b>	$\tau = \tau_0 + K_b \gamma$

Sendo:  $\tau$  é a tensão de cisalhamento ( $N \cdot m^{-2}$  ou Pa);

$\tau_0$  a tensão inicial de cisalhamento ( $N \cdot m^{-2}$ ) ou (Pa);

$\gamma$  a taxa de deformação ( $s^{-1}$ );

$K$  o índice de consistência ( $Pa \cdot s^n$ );

$K_h$  índice consistência de Herschell-Bulkley;

$K_b$  índice consistência de Bingham ;

$n$  o índice de comportamento (adimensional);

$n_h$  o índice de comportamento de Herschell-Bulkley (adimensional).

O índice de comportamento indica a proximidade do fluido ao comportamento newtoniano. Para um fluido newtoniano ( $n = 1$ ), o valor do índice de consistência é igual à viscosidade do fluido (RAO; TATTIYAKUL, 1999). Para  $n < 1$  o fluido é pseudoplástico, para  $n > 1$  o fluido é dilatante (BOURNE, 2002).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

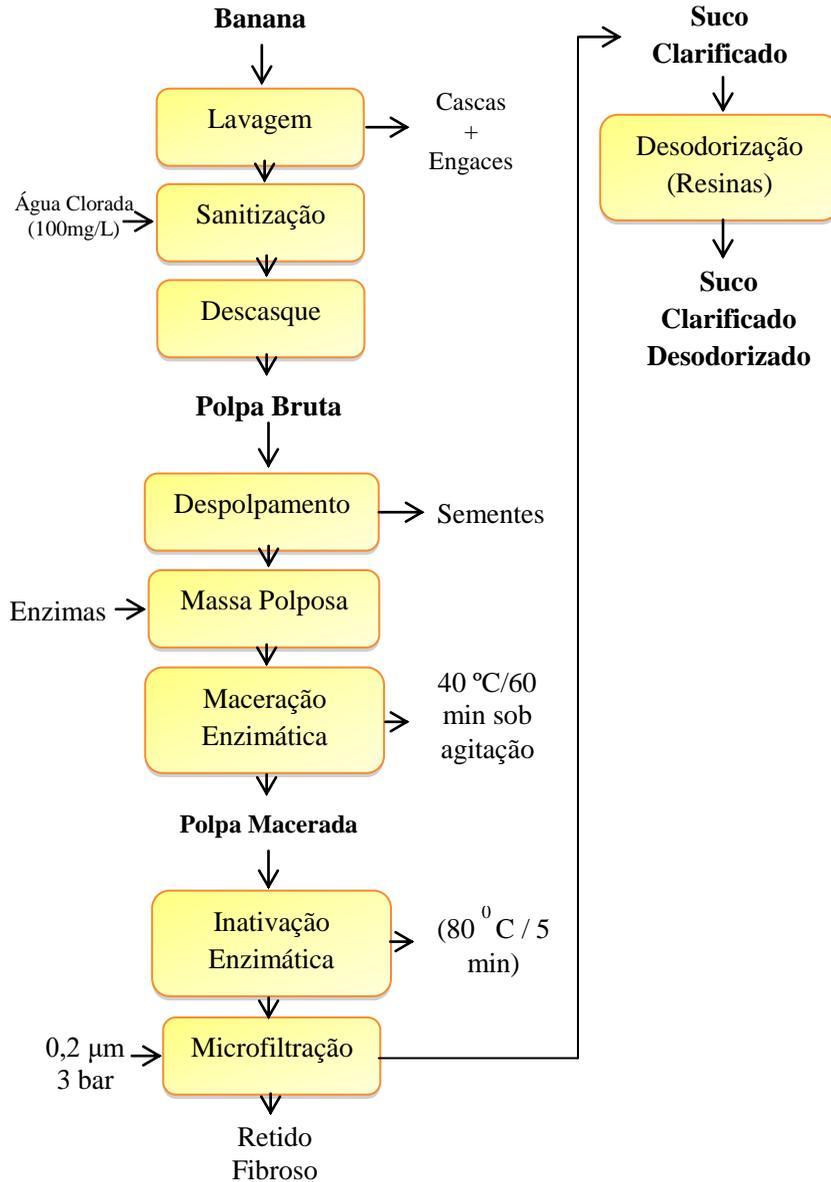
Os trabalhos experimentais foram realizados nos laboratórios da Embrapa Agroindústria Tropical em Fortaleza e no Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, envolvendo laboratórios analíticos e de processos agroindustriais.

### 4.1 Obtenção da polpa

A matéria-prima utilizada para obtenção do suco de banana clarificado foi a variedade nanica (*Musa cavendish*), em estágio de maturação 7. Os frutos foram fornecidos, para fins de pesquisa, pela empresa Pura Vida Ltda., localizada na cidade de Limoeiro do Norte - CE.

Os frutos foram recebidos no Laboratório de Processos Agroindustriais da Embrapa, sendo em seguida preparados para o processamento. Realizou-se uma desinfecção com lavagem em água contendo  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  de cloro ativo, seguido de um enxágue para eliminação do excesso de cloro e, na sequência, foi realizado um descasque manual, obtendo-se a polpa bruta, que foi tratada em despulpadeira descontínua, marca Bonina, com capacidade de até  $300 \text{ kg.h}^{-1}$ , com uma malha de retenção de 0,8 mm em aço inox AISI 304. Dessa forma obteve-se uma massa homogênea que foi posteriormente congelada em lotes de 3 kg para o posterior tratamento enzimático de acordo com os delineamentos experimentais estabelecidos. Nesta operação o rendimento global de polpa foi da ordem de 40%.

Fluxograma 1. Operações e processos da obtenção de suco base neutra de banana.



## 4.2 Tratamento enzimático

Considerando-se as características reológicas e relatos da literatura sobre a polpa de banana, foi estabelecida uma etapa de pré-tratamento enzimático para que o processo de clarificação por membranas se tornasse mais eficiente.

Para isso realizou-se um estudo da redução de viscosidade da polpa de banana, visando ao aumento da densidade média de fluxo de permeado, na etapa de microfiltração. Realizou-se um planejamento experimental do tipo DCCR (delineamento composto central rotacional) com três variáveis independentes e duas dependentes. O planejamento possui oito pontos fatoriais, seis pontos axiais e três pontos centrais totalizando dezessete ensaios, com uso de três enzimas comerciais com distintas atividades: celulolítica, amilolítica e pectinolítica.

As variáveis independentes estabelecidas foram concentração de enzimas pectinase, celulase e amilase. As misturas comerciais de enzimas utilizadas foram Pectinex Ultra SP-L, Celluclast e Amylase AGXXL para pectinase, celulase e amilase respectivamente.

As variáveis dependentes foram densidade média de fluxo de permeado na etapa de microfiltração, e viscosidade da polpa após a maceração enzimática. Ressalta-se aqui o uso de uma operação unitária (microfiltração) como variável de resposta a um processo unitário (maceração enzimática).

A etapa de hidrólise enzimática ocorreu em uma incubadora, marca TECNAL (TE - 420), sob agitação constante de 120 rpm a 40 °C em um tempo fixo de 60 min.

Na Tabela 5 se encontra a faixa de estudo das variáveis independentes do primeiro planejamento.

Tabela 5. Variáveis estudadas no primeiro planejamento experimental.

Níveis	Pectinase (mg.L <sup>-1</sup> )	Celulase (mg.L <sup>-1</sup> )	Amilase (mg.L <sup>-1</sup> )
- 1,68	0,00	0,00	0,00
- 1,00	203	203	203
0	500	500	500
+ 1,00	797	797	797
+ 1,68	1000	1000	1000

Após a realização do primeiro planejamento experimental verificou-se a necessidade de realização de um segundo planejamento também do tipo DCCR, porém com apenas duas variáveis independentes, sendo elas: concentração de enzima e tempo de maceração enzimática, mantendo-se fixa a concentração de pectinase em  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ . O planejamento possui 4 pontos fatoriais, 4 pontos axiais e 3 pontos centrais, totalizando 11 ensaios. A enzima utilizada foi a amilase (Amylase AGXXL).

As variáveis dependentes continuaram sendo densidade média de fluxo de permeado e viscosidade aparente da polpa, após maceração.

A Tabela 6 apresenta a faixa de estudo das variáveis independentes do segundo planejamento.

Tabela 6. Variáveis estudadas no segundo planejamento experimental.

Níveis	Amilase ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Tempo (minutos)
- 1,41	1005	0,00
- 1,00	1150	203
0	1500	500
+ 1,00	1850	797
+ 1,41	1995	1000

Para todos os tratamentos enzimáticos realizados em ambos os planejamentos experimentais realizou-se inativação enzimática da massa macerada em um banho de 80 °C durante 5 minutos.

Todos os tratamentos enzimáticos ocorreram com um volume de 3 litros de polpa de banana.

Os dados obtidos foram analisados no software *Protimiza Experimental Desin*.

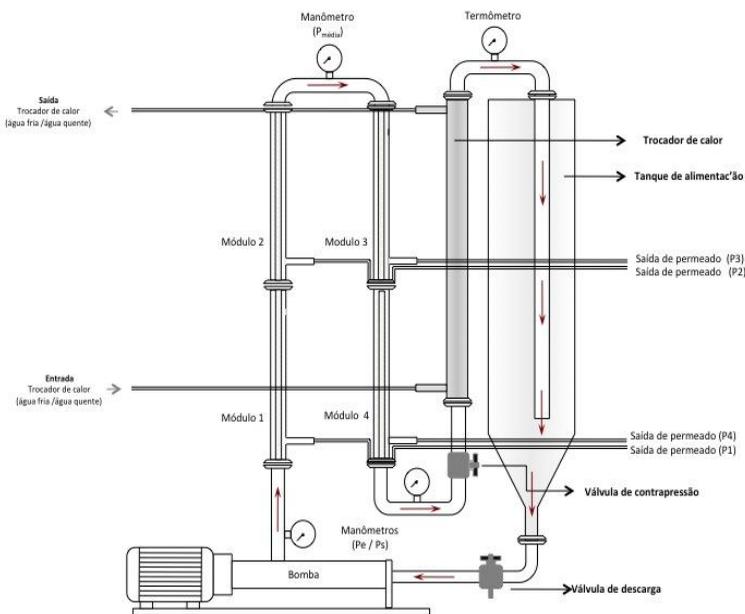
### 4.3 Microfiltração tangencial (MFT)

A etapa de microfiltração ocorreu logo após cada tratamento enzimático realizado.

Os experimentos foram conduzidos em uma unidade piloto de microfiltração dotada de quatro membranas do tipo cerâmica, em óxido de alumínio, com área de filtração individual de  $0,0055 \text{ m}^2$ . As membranas foram fabricadas pela PallMembralox e possuem diâmetro médio de poros de  $0,2 \text{ }\mu\text{m}$ . O sistema de microfiltração possui um tanque

de alimentação com capacidade de quatro litros e o modelo esquemático do piloto está disposto na Figura 7.

Figura 7. Representação esquemática do piloto de laboratório de microfiltração tangencial.



Fonte: (ABREU, 2012).

Uma bomba de deslocamento positivo, tipo helicoidal NEMO 1,0 CV permite recircular sob pressão a polpa de banana no piloto de microfiltração tangencial. O piloto possui um volume morto de aproximadamente 1,3 L que corresponde ao volume do produto retido na bomba, dutos e nas membranas, no final do processo.

A pressão transmembrana média ( $P_{m}$ ) é calculada dentro de cada módulo a partir das pressões de entrada ( $P_e$ ) e de saída ( $P_s$ ) segundo as equações 5; 6; 7 e 8:

$$P_{m1} = \frac{7P_e + P_s}{8} \quad (5)$$

$$P_{m2} = \frac{5P_e + 3P_s}{8} \quad (6)$$

$$P_{m3} = \frac{3P_e + 5P_s}{8} \quad (7)$$

$$P_{m4} = \frac{P_e + 7P_s}{8} \quad (8)$$

Durante os experimentos, as pressões transmembrana são ajustadas por meio de uma válvula de diafragma que permite ajustar a pressão global do sistema de MFT. As pressões são monitoradas por meio dos manômetros instalados no piloto, como mostra a figura esquemática do piloto na figura 8 e a pressão transmembrana média de cada módulo é calculada conforme as equações já citadas.

Os experimentos de microfiltração foram realizados com a recirculação total dos permeados ( $FRV = 1$ ) coletados durante as medições das densidades de seus fluxos.

As densidades dos fluxos do permeados do piloto de microfiltração foram medidas a cada intervalo de 10 min, durante 120 min de operação, em todos os ensaios. Nesse intervalo de 10 min, durante 1 min, coletava-se em provetas amostras para a medição do fluxo de permeado de cada membrana utilizada. Após essas medições, as amostras eram entornadas e homogeneizadas em um único recipiente para coleta total, até completar os 10 min estabelecidos, que seria utilizado para medição do fluxo médio de permeado do sistema, observa-se aqui que o conjunto das quatro membranas em série foi considerado como uma só membrana com um  $P_m$  específica e com área de permeação de 0,022 m<sup>2</sup>, perfazendo dessa forma um total de cinco possibilidades de medidas de fluxos de permeados em cinco  $P_m$  diferentes.

O volume do permeado coletado neste período de tempo (10 min) retorna constantemente ao tanque de alimentação para se obter  $FRV = 1$ .

Os dados obtidos foram utilizados para calcular e traçar as curvas das densidades dos fluxos dos permeados ( $J_p$ ), de cada módulo como também da média do piloto. Este parâmetro, que tem como unidade L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>, é utilizado para avaliar o desempenho da microfiltração tangencial, sendo determinada pela medida do tempo necessário ( $t$ ) para coletar um determinado volume de permeado ( $V$ ) através de uma área específica de membrana ( $A$ ) conforme a Equação 9.

$$J = \frac{V}{A \cdot t} \quad (9)$$

#### 4.4 Determinação das resistências ao escoamento através das membranas

Quando uma solução multicomponente é processada, a resistência da membrana é substituída por uma resistência total ( $R_t$ ) como mostrado na Equação 10, onde todas as resistências presentes no sistema são consideradas em um somatório (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

$$R_t = R_m + R_f + R_p \quad (10)$$

Onde:

$R_m$  é a resistência da membrana;

$R_f$  é a resistência pelo *fouling*;

$R_p$  é a resistência de polarização da concentração;

A resistência total ( $R_t$ ), mostrada na Equação 11, foi calculada utilizando o valor do fluxo permeado final ( $J_f$ ), o valor da viscosidade do permeado ( $\mu_p$ ) e a pressão transmembrana ( $P_t$ ) utilizada no experimento.

$$R_t = \frac{P_t}{\mu_p \cdot J_f} \quad (11)$$

A resistência da membrana ( $R_m$ ) foi calculada pela Equação 12, utilizando a viscosidade da água ( $\mu_w$ ) e o valor do fluxo permeado da água ( $J_w$ ) como parâmetros de referência antes de se iniciar o experimento, utilizando água como alimentação.

$$R_m = \frac{P_t}{\mu_w \cdot J_w} \quad (12)$$

Após o processamento e limpeza física, a resistência devido ao *fouling* ( $R_f$ ) foi calculada pela Equação 13 utilizando os valores de

viscosidade da água ( $\mu_w$ ) e o valor de fluxo de permeado após a limpeza física ( $J_{wf}$ ).

$$R_f = \frac{Pt}{\mu_w * J_{wf}} - R_m \quad (13)$$

Como a resistência total é a soma de todas as resistências, tem-se então a Equação 14 onde a resistência causada pela polarização da concentração e pela camada gel polarizada é obtida ( $R_p$ ).

$$R_p = R_t - R_m - R_f \quad (14)$$

Os valores de fluxo permeado com água após a filtração do suco, após a limpeza física e após limpeza química foram coletados nas  $P_m$  variando de 1 a 3 bar. A limpeza física foi realizada com a circulação de água em uma temperatura de 45 °C durante 30 min. A limpeza química foi realizada com uma solução de NaOH 5% e NaOCl 0,5 % a 80°C e pressão de 1 bar, durante 20 min. Após a limpeza química a membrana foi enxaguada com água filtrada até o pH próximo à neutralidade.

#### 4.5 Adsorção por resinas poliméricas

A desaromatização do suco clarificado foi realizada em escala de laboratório, utilizando uma coluna de adsorção em fluxo descendente por gravidade. Foram avaliadas duas resinas acrílicas, grau alimentício: Ambertlite XAD-4 e XAD-7. Ambas produzidas pela *Rohm & Haas* (Bremen, Alemanha), são utilizadas para remoção de compostos aromáticos e de amargor em sucos de fruta e autorizadas para uso em alimentos pelo *Food and Drug Administration* (FDA).

Foram avaliados os efeitos das variáveis, tipo de resina e densidade do fluxo do suco de banana clarificado, sobre os compostos aromáticos remanescentes no suco desaromatizado.

A desaromatização foi avaliada em uma vazão controlada de 40 mL/min e todos os processos de desaromatização ocorreram com uso de 1 litro de suco clarificado de banana obtido em processo otimizado na etapa de clarificação.

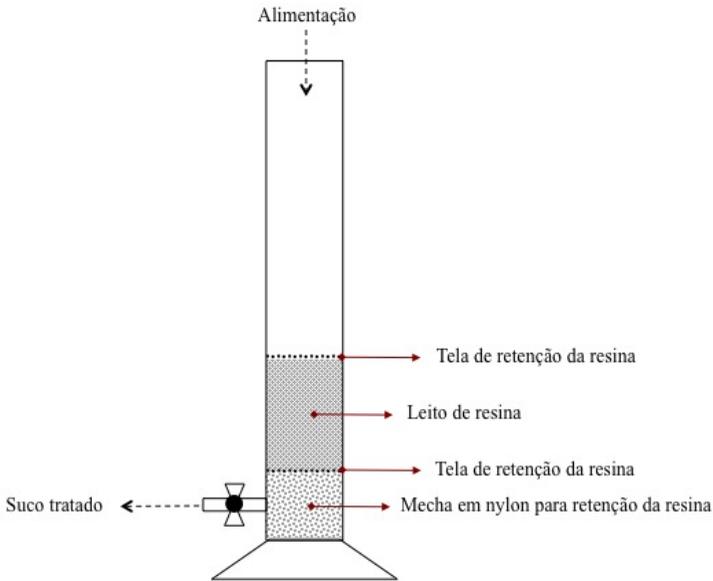
As amostras de suco clarificado foram submetidas em 3 diferentes tratamentos, sendo eles: adsorção em resina XAD4, adsorção

em resina XAD 7 e adsorção nas resinas em série (XAD 4 - XAD 7). Foram realizados em triplicatas de todos os tratamentos.

Com a resina nova deve-se, antes de carregar a coluna, fazer imersão desta em água destilada visando hidratar a resina. Este procedimento é realizado a uma temperatura de 40°C durante 30 min. Em seguida, a coluna é lavada em água corrente para a retirada de possíveis resíduos de sais usados como conservantes presentes na resina. Quando a resina já tiver sido utilizada o procedimento de lavagem visa a retirada do etanol utilizado para estocagem entre as operações.

Para se evitar que o escoamento do suco arraste a resina da coluna, uma pequena mecha de náilon foi posicionada na base interna da coluna. Acima dessa mecha foi colocada também uma primeira tela circular fina confeccionada com fios de aço inoxidável com abertura média de 150 a 200 micra. A tela serve como um suporte para compactar a resina que ficou sobre este, também funcionou como outra barreira de contenção da resina na coluna. Uma segunda tela foi colocada sobre a resina de modo a conter a resina aprisionada entre as duas telas. O modelo do piloto de bancada está disposto na Figura 8.

Figura 8. Esquema da coluna de desaromatização.



Fonte: Próprio autor.

Uma massa de 75 g de cada uma das resinas foi definida para formar 1 Volume do Leito, ou 1 *Bed Volume* (BV). Esta medida corresponde à quantidade de resina que forma 100 mL de volume do leito no interior da coluna de 50 mm de diâmetro.

A lavagem e regeneração das resinas foram realizadas após cada operação conforme as recomendações do fabricante, as quais são apresentadas na metodologia. Após utilização, as resinas são reaproveitadas. Para tanto são lavadas em ciclos CIP com uso de uma solução de NaOH (0,1% a 0,5%). Este procedimento é realizado por três vezes em fluxo contínuo por 20 minutos em cada operação. Enxagua-se até a neutralidade (pH 7,0) e em seguida o sistema é lavado com ácido clorídrico 0,2% durante 5 min. Após esse tempo, procedia-se uma última lavagem feita com água destilada para remoção do HCl.

Ao final, as resinas foram armazenadas em etanol P.A. sob refrigeração até a próxima utilização.

## 4. 6Análises Físico - Químicas

As análises foram realizadas nas amostras de polpa *in natura*, polpa tratada enzimaticamente, suco clarificado e suco clarificado desaromatizado em resinas poliméricas (XAD4 e XAD7). Todas as análises foram realizadas em triplicata e a diferença entre as médias dos resultados foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) e conforme os principais parâmetros físicos e químicos.

### 4.6.1 Turbidez

Medida em um turbidímetro marca Tecnopon modelo TB 1000, com os valores expressos em Unidade de Turbidez Nefelométrica (NTU).

### 4.6.2 Cor

As medidas de cor foram realizadas utilizando um colorímetro (Minolta, CR-400) previamente calibrado, operando no sistema CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e sistema de iluminação D65. Foram coletados os valores de luminosidade ( $L^* = 0$  a 100, valores correspondentes do preto ao branco, nesta ordem), os valores de  $a^*$  demonstram a variação de cor do verde ao vermelho ( $- a =$  verde,  $+ a =$  vermelho), os valores de  $b^*$  demonstram a variação de cor do azul ao amarelo ( $- b =$  azul,  $+ b =$  amarelo).

### 4.6.3 Sólidos solúveis totais (SST)

Leitura direta em refratômetro digital marca ATAGO modelo PR 101, com escala em graus Brix, com correção de temperatura e uma leitura máxima de 90 °Brix.

### 4.6.4 Açúcares totais, redutores e não redutores

As análises de açúcares redutores foram feitas segundo MILLER. Os açúcares redutores foram quantificados por espectrofotometria com comprimento de onda de 540 nm, utilizando-se uma curva padrão de glicose cuja concentração varia no intervalo de 100 mg a 540 mg.

As análises de açúcares totais foram feitas de acordo com o método proposto por TREVELYAN, HARRISON. Os açúcares totais foram quantificados por espectrofotometria a um comprimento de onda

de 620 nm, utilizando uma curva padrão de frutose (100 mg/mL) de intervalo 0-100 mg.

Os açúcares não redutores foram calculados por diferença dos açúcares totais e redutores.

#### 4.6.6 Minerais (K, P, Mg, Ca e Na)

A determinação dos minerais potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e sódio (Na) ocorreu por espectrometria de absorção atômica com chama.

A determinação do mineral fósforo (P), ocorreu por espectrofotometria na região visível, descritas e compiladas nas Normas do Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008).

#### 4.6.7 Cromatografia gasosa

A extração dos compostos voláteis do suco de banana foi realizada pelo método de concentração de vapores em espaço confinado (*headspace* - HS) por meio da técnica de microextração em fase sólida (SPME). A fibra de SPME utilizada foi a de revestimento misto DVB/CAR/PDEM (divinilbenzeno/carboxen/polidimetilsiloxano) da Supelco (Sigma-Aldrich, Bellefonte, PA, USA), com espessura de 30 µm de filme e 10 mm de comprimento. Foram pesados 2 g do suco de banana para realização da extração dos compostos voláteis. As condições de extração utilizada para essa análise foram: tempo de extração de 45 min, temperatura do sistema de 65° C e sem tempo de equilíbrio para formação do *headspace*.

A análise cromatográfica foi realizada em um cromatógrafo gasoso da marca SHIMADZU (CG2010) acoplado ao espectrômetro de massas (QP2010). A dessorção térmica dos compostos adsorvidos na fibra de SPME foi realizada diretamente no injetor, no modo split 1:50 a 240 °C. Os espectros de massas foram adquiridos no modo de impacto de elétrons (EI) com energia de ionização de 70 eV.

A coluna utilizada para separação dos compostos foi a DB-5 com 30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e espessura do filme de 0,25 µm, composta de 95% de dimetil polisiloxano e 5% de difenil. Utilizou-se hélio como gás de arraste a uma vazão de 1,5 mL/min com pressão da coluna de 13 psi e detector quadrupolo. A programação de temperatura iniciou-se com 50 °C, alcançando 180 °C com taxa de 5 °C/min, com um *hold* de 5 min, permanecendo até o final da corrida, cuja duração total foi de 31 min.

#### 4.6.8 Análises reológicas

As medidas reológicas do suco de banana *in natura*, suco microfiltrado, retido da microfiltração e sucos clarificados desaromatizados foram conduzidos em Reômetro R/S, fabricado pela Brookfield Eng. Laboratories. Os dados foram coletados com o software Rheo3000®. As análises reológicas foram obtidas com variação da taxa de deformação de 0,00 a 500 s<sup>-1</sup> (curva ascendente) e de 500 a 0,00 s<sup>-1</sup> (curva descendente), com um tempo de 1 min para cada curva a partir do repouso. As medidas foram feitas na temperatura de 25 ± 0,1 °C, através de circulação da água em um banho com controle de temperatura e acoplado ao equipamento. Foi utilizado o *spindle* RST-CC (cilindro coaxial) para as amostras microfiltradas e o *spindle* VT-20-20 (sistema vane) para a polpa *in natura* e polpa tratada enzimaticamente.

As leituras foram feitas em triplicatas, em cada medida foi utilizada uma nova amostra.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Tratamentos enzimáticos e MFT

A Tabela 7 apresenta a matriz do primeiro planejamento experimental realizado para a polpa de banana *in naturae* suas respostas, densidade de fluxo permeado ( $J_p$ ) na MFT e viscosidade ( $\mu$ ) da polpa após tratamento enzimático.

Pode-se observar que os valores de densidade média de fluxo de permeado variaram de 75,11 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> a 131,64 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>, ensaio 3 e ensaio 11, respectivamente. Por sua vez, os valores de viscosidade oscilaram de 151,7 mPa.s a 267,75 mPa.s, correspondentes aos ensaio 3 e ensaio 11, nesta ordem. Importante ressaltar que a polpa *in natura* submetida aos tratamentos enzimáticos possuía viscosidade de 507,72 ± 12,43 mPa.s.

Os valores expressos na Tabela 5 demonstram uma linearidade quanto à proporção inversa relacionada a densidade média de fluxo de permeado e viscosidade. Onde os menores valores de viscosidade correspondem aos maiores valores de fluxo de permeado.

Pode-se observar, por exemplo, nos ensaios 2 e 4, a concentração de celulase foi quase quadruplicada, mantendo-se a concentração das outras enzimas a mesma em ambos os ensaios, porém a densidade de fluxo de permeado diminuiu aproximadamente 15 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>.

Um comportamento similar foi observado nos ensaios 6 e 8, nos quais, também, quadruplicaram-se as concentrações de celulase, mantendo-se concentrações de pectinase e amilase iguais nesses ensaios, a densidade média de fluxo de permeado reduziu quase 29 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>.

Observa-se um comportamento inverso em relação ao aumento das concentrações de amilase, como observado nos ensaios 5 e 6, nos quais as concentrações dessa enzima foram quadruplicadas, concentrações de pectinase e celulase permaneceram as mesmas nos ensaios estudados, 797 mg.L<sup>-1</sup> e 203 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, viu-se um aumento da densidade média de fluxo de permeado de 27 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>.

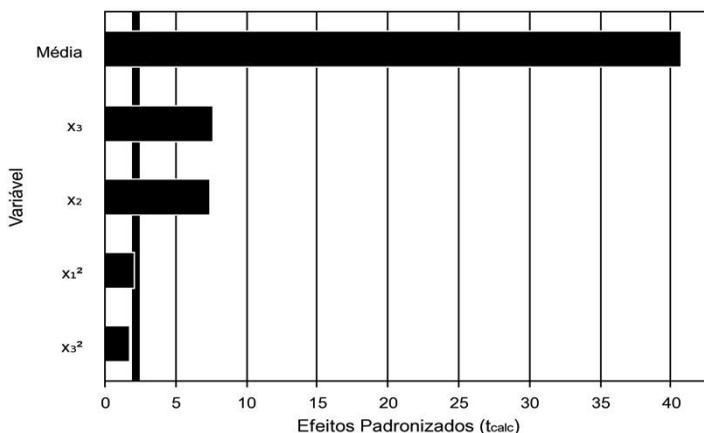
Tabela 7. Matriz do primeiro planejamento experimental (valores codificados e reais) com “ $J_p$ ” e “ $\mu$ ” como respostas.

Ensaio	Variáveis Independentes			Variáveis Dependentes	
	Concentração de pectinase ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Concentração de celulase ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Concentração de amilase ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$J_p$ ( $\text{L.h}^{-1}.\text{m}^2$ )	$\mu$ (mPa.s)
	$X_1(x_1)$	$X_2(x_2)$	$X_3(x_3)$	$y_1$	$y_2$
<b>1</b>	- 1,00 (203)	- 1,00 (203)	- 1,00 (203)	115,9	192
<b>2</b>	- 1,00 (203)	- 1,00 (203)	+1,00 (797)	127,27	170,95
<b>3</b>	- 1,00 (203)	+1,00 (797)	- 1,00 (203)	75,11	267,75
<b>4</b>	- 1,00 (203)	+1,00 (797)	+1,00 (797)	112,61	196,5
<b>5</b>	+1,00 (797)	- 1,00 (203)	- 1,00 (203)	102,5	211,45
<b>6</b>	+1,00 (797)	- 1,00 (203)	+1,00 (797)	129,55	158,95
<b>7</b>	+1,00 (797)	+1,00 (797)	- 1,00 (203)	88,64	250
<b>8</b>	+1,00 (797)	+1,00 (797)	+1,00 (797)	100,91	217
<b>9</b>	- 1,68 (0,00)	0,00 (500)	0,00 (500)	96,82	206
<b>10</b>	+1,68 (1000)	0,00 (500)	0,00 (500)	106,4	207,57
<b>11</b>	0,00 (500)	- 1,68 (0,00)	0,00 (500)	131,64	151,7
<b>12</b>	0,00 (500)	+1,68 (1000)	0,00 (500)	85,91	252,65
<b>13</b>	0,00 (500)	0,00 (500)	- 1,68 (0,00)	75,68	257,73
<b>14</b>	0,00 (500)	0,00 (500)	+1,68 (1000)	130,91	153,55
<b>15 (C)</b>	0,00 (500)	0,00 (500)	0,00 (500)	113,18	196,43
<b>16 (C)</b>	0,00 (500)	0,00 (500)	0,00 (500)	118,9	190,31
<b>17 (C)</b>	0,00 (500)	0,00 (500)	0,00 (500)	114,32	194,79

Nota-se que o uso da enzima celulase em concentrações menores ou nula beneficiou a densidade de fluxo de permeado na etapa de microfiltração. Presume-se que este fato pode estar ligado a uma grande eficiência da ação enzimática da celulase na polpa de banana que ocasionou compostos de dimensões semelhantes ao poro da membrana gerando assim colmatação interna dos poros desta e/ou uma ação constante das forças cisalhantes da bomba promovendo uma quebra física das frações celulósicas, levando-as também a dimensões propícias a uma colmatação interna dos poros das membranas. Nota-se aqui também que a necessidade de resfriamento constante do sistema, com uso de um trocador de calor ,instalado na linha de fluxo de retido, é baseada neste mesmo fenômeno que causa aquecimento do produto em recirculação.

O gráfico apresentado na Figura 9 mostra a respotado pré-tratamento enzimático sobre a densidade de fluxo de permeado. Neste caso consideram-se os valores de  $x_1^2$  e  $x_3^2$  como significativos, pois estão muito próximos a linha (em negrito na vertical) que expressa os parâmetros significativos ou não significativos do estudo.

Figura 9. Gráfico de Pareto para densidade de fluxo de permeado ( $J_p$ ) no primeiro planejamento DCCR.



A Tabela 8 apresenta os resultados da análise de variância para os experimentos realizados. Pode-se afirmar que o modelo é estatisticamente válido, pois o  $F_{\text{calculado}}$  é superior ao  $F_{\text{tabelado}}$ , para o caso da regressão em relação aos resíduos, no planejamento analisado.

Tabela 8. ANOVA para resposta de densidade de fluxo de permeado do primeiro planejamento experimental.

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	$F_{\text{cal}}$	p-valor
<b>Regressão</b>	4887	4	1221,7	29,7	0,000
<b>Resíduos</b>	493,3	12	41,1		
<b>F. de ajuste</b>	475	10	47,5	5,2	0,172
<b>Erro puro</b>	18,3	2	9,2		
<b>Total</b>	5380,3	16			

$$R^2 = 90,83\%; F_{\text{tabelado } 4,12} = 3,259$$

O modelo gerado pelo software *Protimiza*, para a variável dependente, densidade média de fluxo de permeado, está descrito na Equação 11, codificada, porém foi decodificado para valores reais, por interpolação, descrito na Equação 12.

$$Y_1 = 113,03 - 3,78 x_1^2 - 12,80 x_2 + 13,26 x_3 - 3,19 x_3^2 \quad (15)$$

$$Y_1 = 94,26 + 0,00003 x_2^2 + 0,003 x_2 - 0,04 x_1 + 0,043 x_3 + 0,00003 x_3^2 \quad (16)$$

Sendo,

$Y_1$  é a densidade de fluxo de permeado ( $L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ );

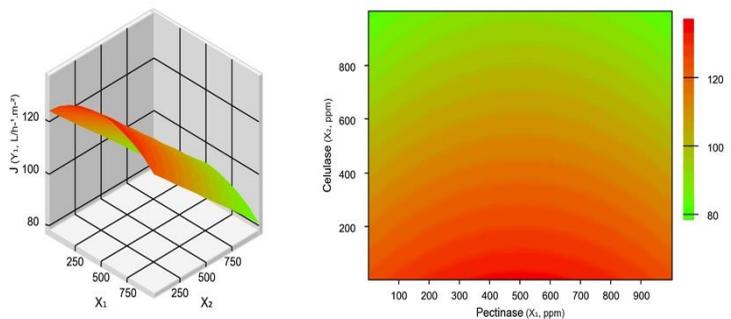
$x_1$  é a concentração de pectinase ( $mg \cdot L^{-1}$ );

$x_2$  é a concentração de celulase ( $mg \cdot L^{-1}$ );

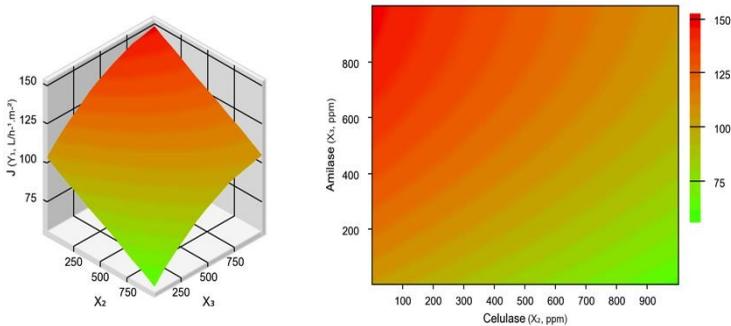
$x_3$  é a concentração de amilase ( $mg \cdot L^{-1}$ );

Pode-se observar graficamente, segundo a Figura 11, que a densidade de fluxo de permeado aumenta com a diminuição das concentrações de celulase, indicando que esta enzima propiciou o efeito colmatante quando se trata da microfiltração da polpa de banana.

Figura 10. Gráficos de superfície de resposta para densidade de fluxo de permeado ( $J_p$ ) envolvendo as concentrações de celulase.



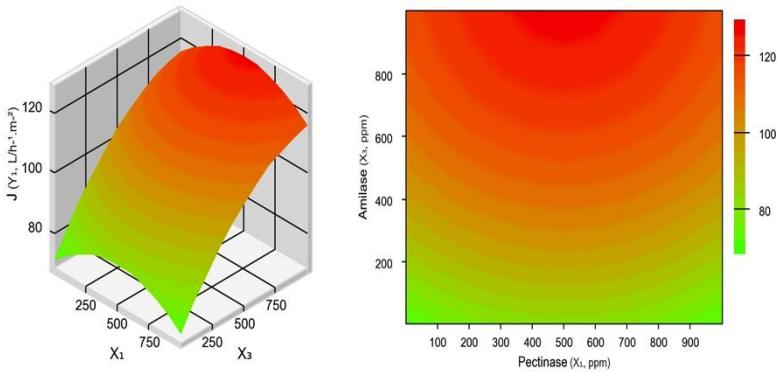
(a)



(b)

O efeito da interação entre as enzimas pectinase e amilase, ao contrário da celulase, apresenta-se como favorável ao processo de clarificação, como mostram os gráficos da Figura 12.

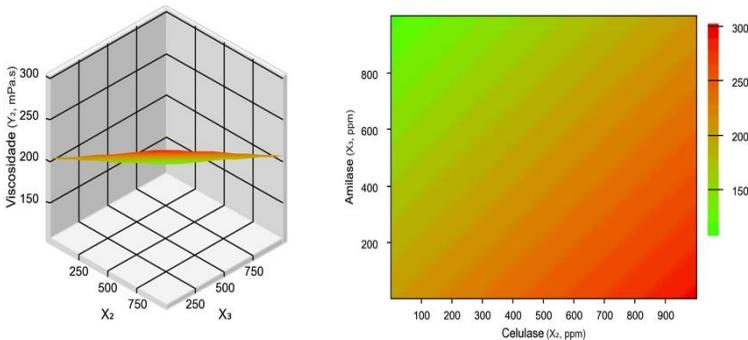
Figura 11. Gráficos de superfície de resposta:densidade média de fluxo de permeado ( $J_p$ ) com as variáveis independentes pectinase e amilase.



Observa-se que a maior densidade de fluxo ocorreu em concentrações de amilase de  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$  e pectinase de  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ , porém, nota-se uma ascendência, não estável, perante as concentrações de amilase.

A Figura 13 demonstra bem o comportamento da viscosidade em relação às concentrações das enzimas estudadas, confirmando que as concentrações de amilase em  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ , pectinase em  $500 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $0,00 \text{ mg.L}^{-1}$  de celulase resultaram em um fluido menos viscoso.

Figura 12. Gráficos de superfície de resposta:viscosidade ( $\mu$ ) com as variáveis independentes celulase e amilase.



Analisando todos os gráficos de superfície de resposta do primeiro planejamento experimental nota-se que a pectinase em concentrações de  $500 \text{ mg.L}^{-1}$  fora ideal para o aumento da densidade de fluxo de permeado, porém a Figura 12 expressa uma ascendência, não estável, mediante as concentrações de amilase, o que resultou em um segundo planejamento experimental.

Entende-se, devido aos custos de aquisição, que existe um problema de viabilidade econômica na utilização de enzima acima de  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ . Porém, para fins acadêmicos quis-se investigar até quanto a concentração de amilase melhoraria a densidade de fluxo de permeado. O tempo (t) passou a ser estudado para, por fim, ser otimizado.

Optou-se, portanto por um planejamento experimental, fixando-se a concentração de pectinase, todos os experimentos, em  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ , já que esta apresentou-se bastante eficiente nessa concentração.

Nesta segunda etapa do delineamento experimental não foram realizados experimentos com uso de celulase, pois percebeu-se que esta prejudicou a densidade média do fluxo na MF, comportamento esse explicável pelo fenômeno de colmatção, como relatado por Abreu (2012) e Soro *et al.*(2011) em trabalhos realizados com tratamento enzimático acoplado aMFT de sucos de frutas. Afirmaram que o efeito complexo das enzimas hidrolisantes sobre as propriedades colmatantes não é compreendido, pois, em alguns casos, a utilização de enzimas podem surpreendentemente ter um efeito negativo na densidade do fluxo do permeado.

As variáveis independentes, como já expressas, concentração de amilase e tempo, juntamente com as variáveis dependentes, densidade de fluxo de permeado ( $J_p$ ) e viscosidade ( $\mu$ ) estão dispostas na Tabela 9, matriz do segundo planejamento experimental.

Tabela 9. Matriz do segundo planejamento experimental (valores codificados e reais) com fluxo de permeado ( $J_p$ ) e viscosidade ( $\mu$ ) como respostas.

Ensaio	Variáveis Independentes		Variáveis Dependentes	
	Concentração de amilase (mg.L <sup>-1</sup> )	Tempo (minutos)	$J_p$ (L.h <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> )	$\mu$ (mPa.s)
	$X_1(x_1)$	$X_2(x_2)$	$y_1$	$y_2$
1	-1,00 (1150)	-1,00 (30)	129,1	167,31
2	-1,00 (1150)	1,00 (90)	140	143,63
3	1,00 (1850)	-1,00 (30)	135	150,2
4	1,00 (1850)	1,00 (90)	144,5	142,45
5	1,41(1995)	0,00 (60)	145	140,13
6	-1,41(1005)	0,00 (60)	142,7	143,30
7	0,00 (1500)	1,41(102)	135	148,03
8	0,00 (1500)	-1,41 (18)	129	164,18
9 (C)	0,00 (1500)	0,00 (60)	144,5	142,31
10 (C)	0,00 (1500)	0,00 (60)	144,5	141,68
11 (C)	0,00 (1500)	0,00 (60)	145	140,97

(C) Ponto central.

Na segunda etapa do planejamento experimental, nota-se que ocorreu uma oscilação média para densidade de fluxo de permeado de 16 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> e 27 mPa.s para viscosidade.

Observando-se o ensaio 6 e os pontos centrais percebe-se uma diferença inferior a 3 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>, ou cerca de 1,6%, na densidade média de fluxo para um aumento de 50% de concentração de amilase, em um intervalo de tempo de 60 minutos de maceração.

O ensaio 4 demonstra uma densidade de fluxo similar aos pontos centrais, vale salientar que a concentração de amilase e o tempo do ensaio 4 são superiores aos pontos centrais.

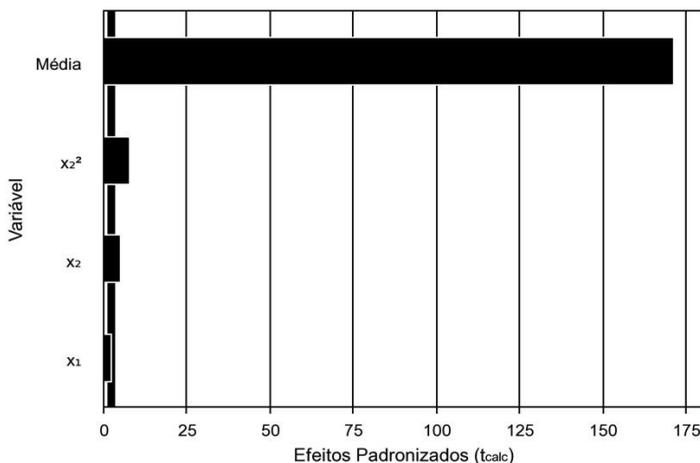
Os fluxos médios que foram inferiores a 140 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> ocorreram em tempos abaixo de 60 minutos, com exceção do ensaio 7, no qual houve uma extrapolação do tempo de maceração até 102 min.

Pode-se perceber, ainda, a proporcionalidade inversa em relação a densidade média de fluxo e viscosidade, onde uma diminuição da

viscosidade está diretamente ligada ao aumento da densidade de fluxo na etapa de microfiltração.

A Figura 14 representa o gráfico de Pareto para resposta de densidade média de fluxo, o qual se considerou o  $x_1$  como variável significativa, pois se encontra muito próximo da linha (na vertical em negrito) que descreve se as variáveis foram significativas ou não significativas.

Figura 13. Gráfico de Pareto para densidade de fluxo de permeado ( $J_p$ ) no segundo planejamento experimental.



Na Tabela 10 encontram-se os resultados da análise de variância para o segundo planejamento. Pode-se afirmar que o modelo é estatisticamente válido, pois o  $F_{calculado}$  é superior ao  $F_{tabelado}$ , para o caso da regressão em relação aos resíduos, no planejamento analisado.

Tabela 10. ANOVA para resposta de densidade de fluxo de permeado do segundo planejamento experimental.

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>cal</sub>	p-valor
<b>Regressão</b>	376,9	3	125,6	31,4	0,000
<b>Resíduos</b>	28	7	4,0		
<b>F. de ajuste</b>	27,9	5	5,6	66,9	0,014
<b>Erro puro</b>	0,2	2	0,1		
<b>Total</b>	404,9	10			

$$R^2 = 93,08\%; F_{\text{tabelado},3,7} = 4,347$$

Um modelo foi gerado para a variável dependente, densidade média de fluxo de permeado que está descrita na Equação 15, codificada, porém o modelo foi decodificado para valores reais, por interpolação, descrito na Equação 16.

$$Y_1 = 144,10 + 1,71 x_1 + 3,61 x_2 - 6,35 x_2^2 \quad (15)$$

$$Y_1 = 104,32 + 0,00488 x_1 + 0,96 x_2 - 0,0070 x_2^2 \quad (16)$$

Sendo,

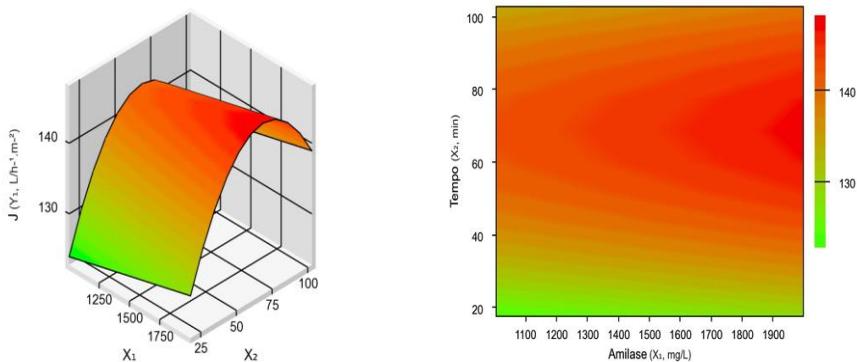
$Y_1$  é a densidade de fluxo de permeado em  $L.h^{-1}.m^{-2}$  ;

$x_1$  é a concentração de amilase em  $mg.L^{-1}$  ;

$x_2$  é o tempo em min;

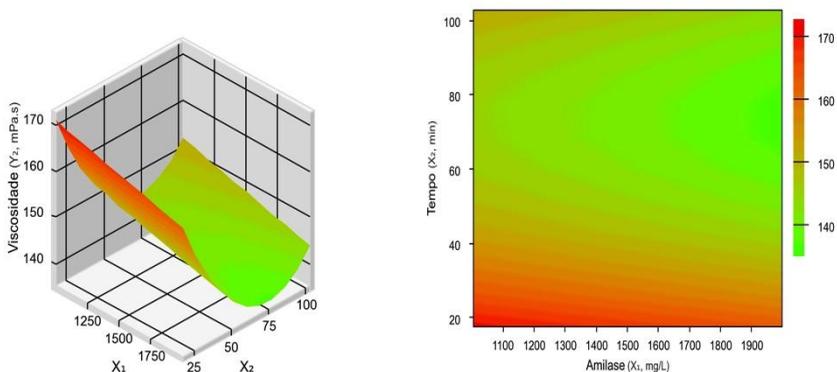
A Figura 14 dispõe as superfícies de resposta da densidade média do fluxo de permeado. Observa-se um leve decaimento da densidade de fluxo em tratamentos com tempos superiores a 90 min.

Figura 14. Gráficos de superfície de resposta para densidade média de fluxo de permeado ( $J_p$ ) do segundo planejamento experimental.



Na Figura 15 nota-se, claramente, comparando-se aos gráficos da Figura 14, a inversão de proporcionalidade da densidade média de fluxo de permeado em relação a viscosidade.

Figura 15. Gráficos de superfície de resposta para viscosidade ( $\mu$ ) do segundo planejamento experimental.



O processo de hidrólise enzimática reduziu em 72% a viscosidade da polpa *in natura* de banana, valor esse similar e superior a alguns encontrados na literatura, como por exemplo, Santin *et al.* (2005) que conseguiu reduzir em 68% a viscosidade da polpa de pêssego com tratamento enzimático utilizando Pectinex Ultra AFP-L® e Silva *et al.* (2003) que, por sua vez, obtiveram uma redução de 43% na viscosidade do suco de maracujá, também utilizando pectinases.

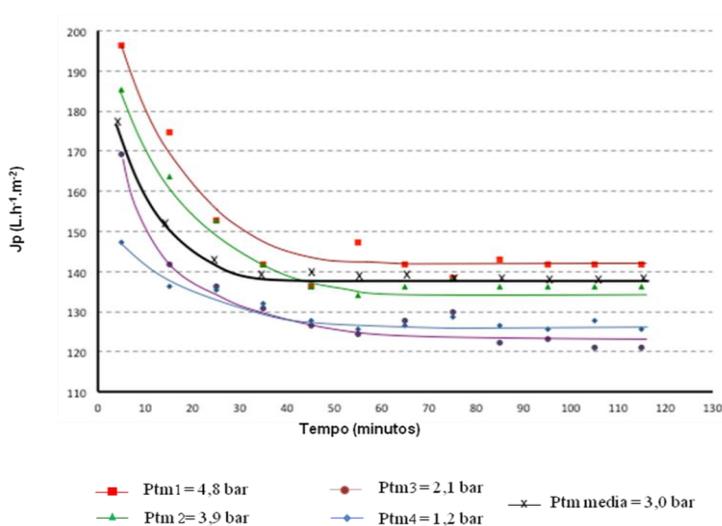
Matta (1999) verificou a influência do tratamento enzimático prévio na microfiltração de suco de acerola. O suco foi tratado com a enzima comercial Pectinex Ultra SP-L®, na concentração de 0,01 % (v/v), a 35 °C, durante 30 min. O tratamento enzimático nessas condições reduziu o teor de viscosidade da polpa em 74%. Ushikubo (2006), nas mesmas condições, em um tempo de maceração enzimática de 60 min obteve um aumento de 35% na densidade média de fluxo de permeado no processo de microfiltração do suco de umbu.

Neto (2016) na obtenção de suco de melão clarificado utilizando equipamento similar ao do estudo de microfiltração, e nas mesmas condições operacionais desse estudo, 3 bar de pressão transmembrana, 40 °C e concentração de 250 mg.L<sup>-1</sup> de Pectinex Ultra SP-L® e 250 mg.L<sup>-1</sup> Celluclast, obteve uma densidade média de fluxo de permeado de 134 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>, valor bem próximo aos relatados na Tabela 8.

Utilizando as equações da resposta de densidade média de fluxo de permeado de ambos os planejamentos, podemos demonstrar uma densidade média de fluxo de permeado equivalente a 147,84 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup> ± 7,17 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>, no primeiro planejamento, e 141,69 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup> ± 1,31 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>, no segundo planejamento, para 1000 mg.L<sup>-1</sup> de concentração de amilase, 500 mg.L<sup>-1</sup> para concentração de pectinase em um tempo de maceração enzimática de 60 min.

Na Figura 16 está representado o comportamento da densidade de fluxo de permeado, no período de 120 minutos, do ensaio 6 descrito na Tabela 7, por ser o único ensaio em comum nos dois planejamentos e por apresentar uma densidade média de fluxo de permeado superior a 140 L/h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>, com a menor quantidade de enzima, descrita no segundo planejamento.

Figura 16. Curvas da densidade de fluxo de permeado  $J_p$  nas cinco pressões transmembrana estudadas, referentes a cada membrana, ( $P_{tm1}$ ,  $P_{tm2}$ ,  $P_{tm3}$  e  $P_{tm4}$ ), e a pressão transmembrana média ( $P_{tm}$  média).



O fenômeno de polarização de concentração que ocorre quando os sólidos presentes na polpa de banana se acumulam na superfície da membrana é responsável por uma redução da densidade do fluxo médio do permeado.

As curvas apresentadas demonstram um comportamento comum de processos de filtração por membranas, relatando um decaimento acentuado no início do processo, em seguida um estado pseudo-estacionário ocorre no decorrer do tempo transcorrido.

Segundo Vladislavjevic, Vukoslavjevic e Bukvic (2003) esse decaimento acentuado no início do processo, caracteriza-se pela camada polarizada de concentração e bloqueio interno dos poros. No decorrer do processo, a redução do fluxo de permeado decai mais lentamente ocorrendo uma deposição de compostos na superfície externa da membrana. Tais autores estudaram a variação de pressão para processos de MFT e concluíram que quanto maior for a pressão utilizada, maior será o decaimento inicial de fluxo. Comportamento esse explicado pelo maior acúmulo de sólidos na superfície da membrana em pressões mais elevadas, ocasionando o fenômeno de colmatção interna destas.

Nota-se um declínio acentuado da densidade de fluxo de permeado no processo de MFT, redução de (26% - 31%) nas pressões mais elevadas, membrana 1 e 2 ( $P_{m1}$  e  $P_{m2}$ ) e menos acentuado, redução de (20% e 9%) nas menores pressões, membrana 3 e 4 ( $P_{m3}$  e  $P_{m4}$ ), e na pressão transmembrana média (Pressão T.M) um declínio intermediário de 22%. Tal distribuição é explicável pelo fenômeno, já descrito, por Vladisavljevic, Vukosavljevic e Bukvic (2003).

## 5.2 Determinação das resistências do sistema de MFT

A redução do fluxo permeado é comum em processos de filtração por membranas, pois existem resistências inerentes ao processo, variando apenas a intensidade com qual ocorrem. Um estado pseudo-estacionário é observado logo após a estabilização da camada de polarização, ocasionando um declínio menor na redução do fluxo permeado, pois ocorrerá um crescimento constante do *fouling* no decorrer do processo (SILVA, 2009).

Necessita-se quantificar a influência das resistências oferecidas pelos processos de separação por membranas, para se ajustar os parâmetros do sistema, se possível, de acordo com a maior resistência oferecida.

O cálculo das resistências foi obtido utilizando a viscosidade da água como  $1,00 \times 10^{-3}$  Pa.s e a densidade de fluxo de permeado como  $142 \text{ L.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ , referente ao ensaio 6.

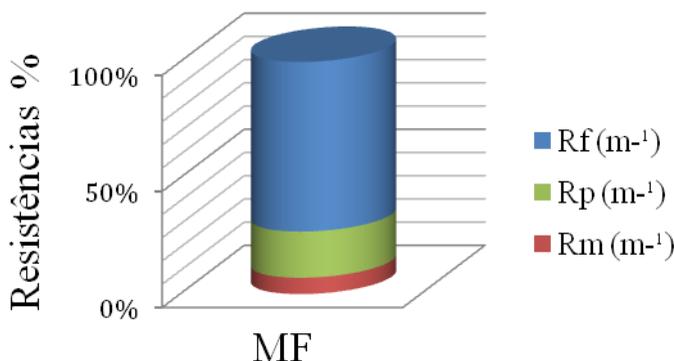
Na Tabela 9 estão descritos os valores das resistências no processo de MF para suco de banana *in natura* e na Figura 18 um gráfico apresentando de forma percentual tais resistências.

Tabela 11. Valores de resistências ao fluxo permeado da resistência da membrana ( $R_m$ ), resistência do *fouling* ( $R_f$ ) e resistência da polarização por concentração ( $R_p$ ) em relação à resistência total ( $R_t$ ).

Exp.	$\mu^*$ (mPa.s)	$R_t$ ( $\text{m}^{-1}$ )	$R_m$ ( $\text{m}^{-1}$ )	$R_f$ ( $\text{m}^{-1}$ )	$R_p$ ( $\text{m}^{-1}$ )
MF	2,7	$3,8 \times 10^{12}$	$2,7 \times 10^{11}$	$2,8 \times 10^{12}$	$7,7 \times 10^{11}$

\* viscosidade aparente do suco clarificado de banana.

Figura 17: Porcentagem da influência da resistência da membrana ( $R_m$ ), resistência da polarização por concentração ( $R_p$ ) e resistência do *fouling* ( $R_f$ ) no fluxo permeado.



Pode-se notar que a resistência associada ao *fouling* foi preponderante, responsável por um efeito de 73,07%, a resistência da concentração por polarização foi responsável por 19,89% e a resistência da membrana por 7,04%. Efeito esse esperado, pois a turbulência acentuada dos processos de MF ocasionam em um aumento da resistência relacionada ao *fouling* (SILVA, 2009).

Arend (2016), em processos de MF para suco de morango, compilou valores das resistências por polarização e pelo *fouling* em 47,9% e 47,7%, respectivamente, tendo a resistência da membrana associada aos 4,4% restantes.

Rezzadori (2010), em estudo de microfiltração com cana de açúcar compilou valores de  $R_f$  variando de 2,06 a 43,26 % e de 51,3 a 82,66 % na resistência referente à  $R_p$ .

Alguns trabalhos indicam o *fouling* como resistência preponderante no processo de microfiltração, com valores de  $R_f$  variando de 60 a 70%, como: Watanabe, Ushikubo e Viotto (2006) em microfiltração de suco de umbu; Clareto (2007) em suco de goiaba e Ongaratto e Viotto (2009) em microfiltração e ultrafiltração de suco de pitanga.

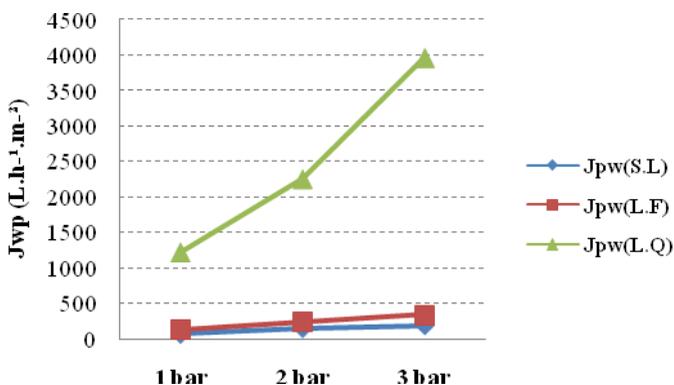
Após o processo de MF, a membrana passou pelo processo de limpeza, para recuperação do fluxo permeado.

Todas as medidas foram realizadas com água e os fluxos foram expressos após o processamento com o suco de banana, sem limpeza

( $J_{wp}$  S.L), após a limpeza física ( $J_{wp}$  L.F) e após limpeza química ( $J_{wp}$  L.Q). A limpeza física (L.F) ocorreu com água a 50°C durante 30 min.

Membranas que se consegue recuperar o fluxo de permeado, ou quase que recuperar totalmente, somente com a utilização de L.F possuem a polarização por concentração comoresistência preponderante responsável pelo declínio do fluxo de permeado e em casos nos quais é necessário também uma L.Q para restaurar o fluxo a seu valor inicial, ou próximo a este, o *fouling* é a resistência determinante (AREND, 2016).

Figura 18. Curva de recuperação de fluxo permeado de água ( $J_w$ ) para o processo de microfiltração (MF) sem limpeza ( $J_{wp}$ S.L), após limpeza física ( $J_{wp}$ L.F) e após limpeza química( $J_{wp}$ L.Q) .



No processo de MF a recuperação do fluxo de permeado, após a limpeza física, foi de aproximadamente 12%, caracterizando a maior ocorrência de *fouling*. Valores próximos foram observados por Arend (2016), que conseguiu uma recuperação de 10% em uma membrana de MF, em material orgânico de poliamida em configuração de fibra oca com diâmetro de poro de 0,4 $\mu$ m.

Após a limpeza química recuperou-se aproximadamente 97% de do fluxo de permeado inicial utilizando água.

### 5.3 Adsorção em resinas poliméricas (XAD 4 e XAD 7)

O suco de banana clarificado foi submetido a um processo de adsorção em resinas poliméricas onde se podem comparar os valores das análises físico químicas realizadas em todas as etapas realizadas, desde a polpa *in natura* até ao suco submetido a tratamentos em resinas. A desaromatização ocorreu em fluxo constante de 0,5 BV/min nas duas resinas utilizadas, durante 20 min. Os resultados das análises de viscosidade aparente, turbidez e cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) estão expressos na Tabela 12.

Um volume de 100 mL de resina foi definido como “1 volume de leite”, ou “1 *bed volume*” (BV). Esta medida corresponde à quantidade de resina que forma o leito no interior da coluna cromatográfica.

Pode-se notar que a viscosidade aparente da polpa *in natura* reduziu em 72% com o tratamento enzimático e que o suco clarificado e tratado com as resinas XAD 4 e XAD 7 não obtiveram diferença significativa, obtendo um fluido com viscosidade aparente variando de 2,27 a 2,7 mPa.s.

Percebeu-se que o suco clarificado e tratado com resinas poliméricas resultou em um fluido extremamente límpido, com turbidez em valores na ordem da unidade, resultado esperado para sucos clarificados por membranas. O suco *in natura* e o tratado enzimaticamente por conter muitas fibras e compostos em suspensão obtiveram valores superiores a 1000 NTU.

A luminosidade ( $L^*$ ), tendência ao verde ou vermelho ( $-a^*$  e  $+a^*$ ) e tendência ao azul ou amarelo ( $-b^*$  e  $+b^*$ ), demonstrados na Tabela 10, mostram que as amostras (1 e 2) não clarificadas possuem baixa luminosidade, resultados esses esperados, pois não houve o processo de inativação da polifenoloxidase, branqueamento por exemplo, ocasionando assim o processo de escurecimento enzimático da polpa de banana *in natura*. Para os sucos microfiltrados (amostras 3,4,5 e 6) houve um aumento significativo de  $L^*$ .

Percebe-se, também, um aumento significativo da luminosidade dos sucos microfiltrados e tratados por resinas (amostra 4,5 e 6) em relação ao suco só microfiltrado (amostra 3), demonstrando que as resinas clarificam ainda mais o suco de banana.

Por não haver inativação da polifenoloxidase após o despulpamento, como já dito, ocorreu o escurecimento da polpa *in natura* e tratada enzimaticamente, ocasionando assim a tendência ao vermelho ( $+a^*$ ) para essas duas amostras (1 e 2), tendência essa que foi

alterada quando houve o processo de MF, constatando uma leve tendência ao verde (-a\*).

Para os valores de  $b^*$  notou-se o mesmo comportamento. As amostras não microfiltradas (1 e 2) obtiveram valores para esse parâmetro tendenciando ao azul, devido ao escurecimento das polpas, e para as amostras microfiltradas(3,4,5 e 6) houve uma alteração para uma tendência moderada ao amarelo.

Nota-se que as amostras tratadas por resinas (amostras 4,5 e 6) apresentaram valores menores de  $b^*$  do que a amostra 3, confirmando uma diminuição significativa da cor amarelo no suco clarificado de banana quando o mesmo é submetido ao tratamento com resinas XAD 4 e XAD 7. Isto se justifica devido à adsorção dos pigmentos presentes no suco de banana clarificado pelas duas resinas. Essa adsorção é visualmente notada durante a desaromatização pela mudança da coloração das resinas ao final do processo.

Neto (2016) obteve redução semelhante da cor do suco de melão clarificado, quando o mesmo foi submetido a desaromatização em resinas poliméricas XAD 4 e XAD 7.

Não haver diferenças estatisticamente significativas nas amostras (4,5 e 6) nos atributos de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) não significa que não é visível ou notória essa diferença, como mostra a Figura 19, tais diferenças podem ser visualizadas, portanto podemos questionar a estatística quanto ao estado físico, pois apenas um estudo mais aprofundado, no caso um estudo sensorial, pode demonstrar com mais clareza essa percepção física da cor e só aí haverão dados mais sólidos para analisar comercialmente os produtos gerados.

Figura 19. Suco microfiltrado (1) e sucos microfiltrados e tratados em resinas XAD 4, XAD 7 e XAD 4 - XAD7 (2,3 e 4 respectivamente).



Tabela 12. Resultados das análises de Viscosidade, Turbidez, e Cor (L\*,a\*,b\*) para suco de banana *in natura* (Amostra 1), suco de banana tratado enzimaticamente (Amostra 2), suco microfiltrado (Amostra 3) e sucos microfiltrados e tratados em resinas XAD 4, XAD 7 e XAD 4 - XAD7 (Amostra 4,5 e 6, respectivamente).

<b>Amostras</b>	<b>Viscosidade (mPa.s)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Cor (L*)</b>	<b>Cor (a*)</b>	<b>Cor (b*)</b>
<b>Amostra 1</b>	507,37 ± 15,36 <sup>a</sup>	>1000 <sup>a</sup>	13,45 ± 0,22 <sup>a</sup>	33,38 ± 0,28 <sup>a</sup>	28,44 ± 0,12 <sup>a</sup>
<b>Amostra 2</b>	144,04 ± 1,22 <sup>b</sup>	>1000 <sup>a</sup>	19,34 ± 0,11 <sup>b</sup>	35,33 ± 0,11 <sup>b</sup>	30,47 ± 0,34 <sup>b</sup>
<b>Amostra 3</b>	2,70 ± 0,10 <sup>c</sup>	1,85 ± 0,03 <sup>b</sup>	84,27 ± 0,17 <sup>c</sup>	- 11,33 ± 0,12 <sup>c</sup>	10,33 ± 0,12 <sup>c</sup>
<b>Amostra 4</b>	2,37 ± 0,11 <sup>c</sup>	1,45 ± 0,02 <sup>b</sup>	91,48 ± 0,01 <sup>d</sup>	- 6,55 ± 0,43 <sup>d</sup>	7,94 ± 0,04 <sup>d</sup>
<b>Amostra 5</b>	2,50 ± 0,12 <sup>c</sup>	1,39 ± 0,04 <sup>b</sup>	91,68 ± 0,18 <sup>d</sup>	- 6,35 ± 0,01 <sup>d</sup>	7,86 ± 0,01 <sup>d</sup>
<b>Amostra 6</b>	2,27 ± 0,11 <sup>c</sup>	1,35 ± 0,03 <sup>b</sup>	91,23 ± 0,02 <sup>d</sup>	- 6,02 ± 0,01 <sup>d</sup>	7,78 ± 0,01 <sup>d</sup>

Observação: letras iguais na mesma coluna indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferenças entre as médias.

Na Tabela 13 estão expressos os valores referentes a sólidos solúveis totais (S.S.T), Açúcares totais, açúcares redutores e não redutores para as amostras em todas as etapas, do suco in natura ao suco microfiltrado e tratado em resinas.

Tabela 13. Resultados de sólidos solúveis totais (S.S.T), açúcares totais, açúcares redutores (A.R) e não redutores (A.N.R) para suco de banana *in natura* (Amostra 1), suco de banana tratado enzimaticamente (Amostra 2), suco microfiltrado (Amostra 3) e sucos microfiltrados e tratados em resinas XAD 4, XAD 7 e XAD 4 - XAD7 (Amostra 4,5 e 6, respectivamente).

<b>Exp.</b>	<b>S.S.T (°Brix)</b>	<b>Açúcares totais (%)</b>	<b>A.R. (%Glicose)</b>	<b>A.N.R (%Sacarose)</b>
<b>Amostra 1</b>	21,10±0,10 <sup>a</sup>	19,30±0,17 <sup>a</sup>	13,33±0,13 <sup>a</sup>	5,97±0,10 <sup>a</sup>
<b>Amostra 2</b>	22,23±0,06 <sup>b</sup>	20,14±0,03 <sup>b</sup>	14,49±0,08 <sup>a</sup>	5,65±0,11 <sup>b</sup>
<b>Amostra 3</b>	23,43±0,12 <sup>c</sup>	21,17±0,07 <sup>c</sup>	14,23±0,08 <sup>c</sup>	6,94±0,09 <sup>c</sup>
<b>Amostra 4</b>	21,23±0,06 <sup>a</sup>	19,27±0,15 <sup>a</sup>	13,13±0,06 <sup>a</sup>	6,33±0,15 <sup>d</sup>
<b>Amostra 5</b>	20,63±0,06 <sup>d</sup>	18,33±0,09 <sup>d</sup>	12,30±0,13 <sup>d</sup>	6,03±0,28 <sup>e</sup>
<b>Amostra 6</b>	20,43±0,06 <sup>d</sup>	18,25±0,09 <sup>d</sup>	12,01±0,07 <sup>d</sup>	5,90±0,10 <sup>ae</sup>

Observação: letras iguais na mesma coluna indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferenças entre as médias.

Os valores referentes as amostras não microfiltradas (1 e 2) estão de acordo com a literatura, Godoy (2010) compilou valores de 18,70 % para açúcares totais, 12,61% para açúcares redutores em glicose e 6,72% para açúcares não redutores em sacarose.

Nota-se uma diminuição significativa de açúcares totais, consequentemente, redutores e não redutores nos sucos microfiltrados tratados com resinas, em relação ao suco somente microfiltrado, demonstrando que há perdas de açúcares na coluna de adsorção das resinas XAD 4 e XAD 7. Havendo uma perda maior de açúcares pela

resina XAD 7, porém essa redução de açúcares com a utilização da resina, não inviabiliza o processo, pois as concentrações de açúcares continuam elevadas se comparados a literatura.

Nota-se também uma diminuição de minerais (K, Mg, P, Ca e Na) nas amostras que foram submetidas a tratamentos de adsorção em resinas poliméricas, como expresso na Tabela 14.

Pode-se sugerir uma interação química de compostos solúveis, minerais e açúcares, com os componentes poliméricos das resinas XAD 4 e XAD 7. Um estudo mais aprofundado sobre essa retenção de minerais e açúcares merece ser abordado em pesquisas futuras.

Diante os resultados da Tabela 12 podemos perceber que os teores de sódio em todas as amostras estão constantes e reduzidos.

No suco apenas microfiltrado obteve-se valores de  $431,63 \pm 5,65$ mg/100g,  $155,99 \pm 1,65$  mg/100g ,  $189,96 \pm 3,46$  mg/100g e  $70,70 \pm 1,64$ mg/100g para potássio, magnésio, fósforo e cálcio, respectivamente.

Tais valores são muito superiores aos compilados na TACO (2011), onde foram obtidos 376,28, 27 e 3 mg/100g para potássio, magnésio, fósforo e cálcio, respectivamente, o que justifica a utilização de resinas, pois existe uma diminuição de minerais, porém tal diminuição não inviabiliza utilização desse método, tendo em vista que as concentrações de minerais continuam elevadas se compararmos aos valores compilados na literatura.

Tabela 14. Resultados da concentração de minerais (K, Mg, P, Ca e Na) para suco de banana microfiltrado (Amostra 1) e sucos microfiltrados e tratados em resinas XAD 4, XAD 7 e XAD 4 - XAD 7 (Amostra 2,3 e 4, respectivamente).

<b>Amostras</b>	<b>Potássio (mg/100g)</b>	<b>Magnésio (mg/100g)</b>	<b>Fósforo (mg/100g)</b>	<b>Cálcio (mg/100g)</b>	<b>Sódio (mg/100g)</b>
<b>Amostra 1</b>	431,63 ± 5,65 <sup>a</sup>	155,99 ± 1,65 <sup>a</sup>	189,96 ± 3,46 <sup>a</sup>	70,70 ± 1,64 <sup>a</sup>	3,54 ± 0,13 <sup>a</sup>
<b>Amostra 2</b>	421,01 ± 5,20 <sup>b</sup>	125,96 ± 1,08 <sup>b</sup>	171,48 ± 1,88 <sup>b</sup>	58,95 ± 0,65 <sup>b</sup>	3,45 ± 0,03 <sup>a</sup>
<b>Amostra 3</b>	406,61 ± 1,49 <sup>c</sup>	125,08 ± 0,64 <sup>bc</sup>	164,45 ± 1,54 <sup>c</sup>	61,63 ± 1,66 <sup>b</sup>	3,39 ± 0,01 <sup>ab</sup>
<b>Amostra 4</b>	397,75 ± 1,90 <sup>c</sup>	122,41 ± 0,99 <sup>c</sup>	159,13 ± 2,29 <sup>c</sup>	58,41 ± 0,83 <sup>b</sup>	3,23 ± 0,01 <sup>b</sup>

Observação: letras iguais na mesma coluna indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferenças entre as médias.

Após a análise de viscosidade aparente, turbidez, cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), açúcares (totais, redutores e não redutores) e minerais (K, Mg, P, Ca e Na), o presente estudo também analisou de forma qualitativa a redução de aromas, aromas esses que são já conhecidos e descritos nas literatura.

Tressl e Jennings (1972) identificaram que os principais constituintes do aroma de banana são: acetato de etila, etanol, acetato de propila, acetato de isobutila, etil butirato, isobutil butirato, 3-metil-butilacetato (isoamilacetato ou acetato de isoamila).

Como já dito, a desaromatização ocorreu em fluxo constante de 0,5 BV/min nas duas resinas utilizadas, durante 20 minutos. Havendo uma redução de picos como demonstrado na Figura 20, no qual os compostos voláteis do suco que fora apenas microfiltrado foram parcialmente ou totalmente adsorvidos pelas resinas XAD 4 e XAD 7.

Os resultados deste trabalho são semelhantes aos da literatura obtidos por Mozaffar *et al.* (2000), Lee *et al.* (2003), Correia (2012) e Neto (2016).

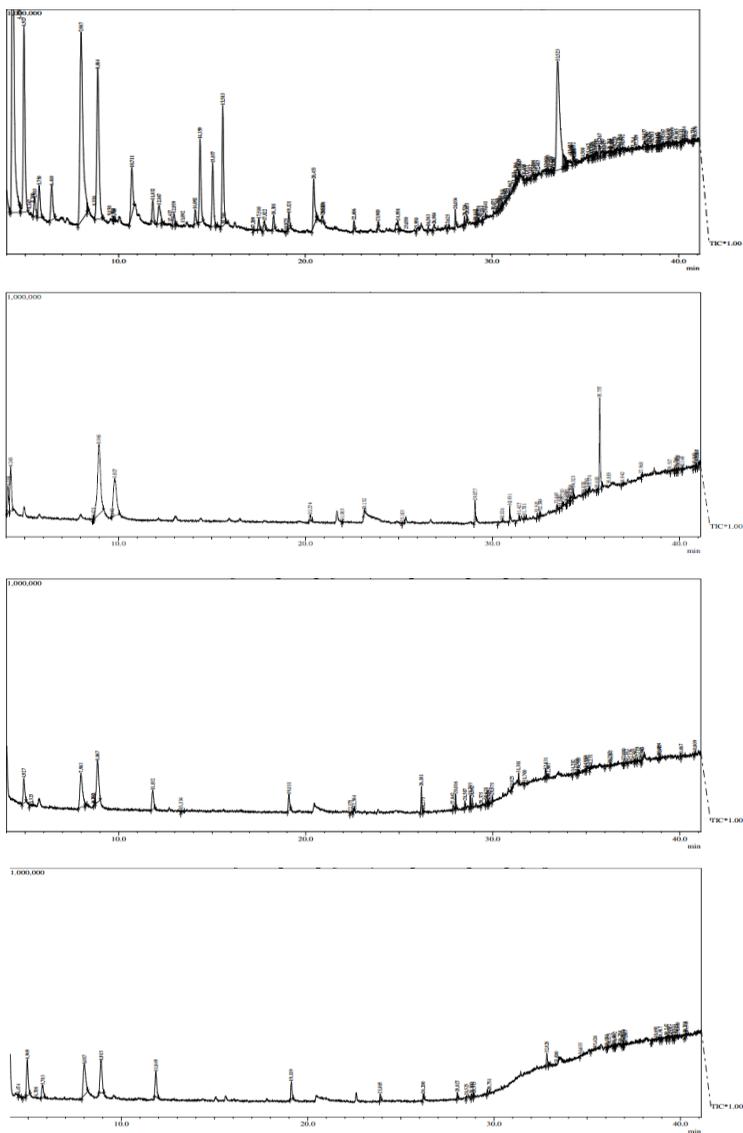
Mozaffar *et al.* (2000), reivindicando a patente N° US 6.045.842 para um método de isolamento de compostos de aromas a partir de um fluido, com o objetivo de eliminar o amargor de sucos cítricos utilizando Amberlite®XAD-16, atingiu êxito com um fluxo de 0,15 VB/min.

Lee *et al.* (2003) conseguiram remover mais de 78% dos compostos responsáveis pelo amargor do suco clarificado de pomelo utilizando Amberlite® XAD-16 a um fluxo de 0,17 BV/min.

O suco microfiltrado e fermentado de noni (*Morinda citrifolia*) foi submetido à desaromatização utilizando resinas adsorventes da série Amberlite®, XAD-4, XAD-761, FPA54 e FPX66. A resina XAD-4 foi a que causou maior remoção de compostos voláteis e também a menor perda de nutrientes como vitamina C e fenólicos totais (CORREIA *et al.*, 2012).

O suco microfiltrado de melão foi desaromatizado utilizando resinas adsorventes XAD 4 e XAD 7, a resina XAD 7 obteve melhores resultados, a mesma adsorveu todos os compostos aromáticos relatados na literatura como descritores do melão, exceto o nonanal, este, porém, somente foi identificado a partir da amostra coletada no fluxo de 12 BV/h (0,2 BV/min.), após 150 minutos de desaromatização (NETO, 2016).

Figura 20. Cromatogramas de suco de banana (microfiltrado, microfiltrado - XAD4, microfiltrado - XAD7 e microfiltrado -XAD4:XAD7, respectivamente).



Tais análises confirmam a eficiência da utilização de resinas poliméricas para redução de aromas do suco clarificado de banana.

Trabalhos futuros devem ser abordados com o objetivo de quantificar e identificar os picos referentes aos voláteis que foram parcialmente ou totalmente adsorvidos nas resinas para fins de viabilidade econômica e industrial.

Salientando as vantagens, como: redução de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), de aromas e a possibilidade de reuso das resinas (XAD 4 e XAD 7), como descrito na metodologia, podemos discutir de forma positiva e sugerir a utilização desse método de adsorção por resinas poliméricas em suco de banana, mesmo que nas concentrações de açúcares e minerais tenham havido uma redução estatisticamente significativa, tais reduções não descredibilizam a utilização de resinas poliméricas tendo em vista as vantagens já citadas.

Um estudo sensorial deve ser futuramente abordado objetivando aprofundar ainda mais a viabilidade técnica desse método de adsorção.

## 5.4 Reologia

As Figuras 21, 22 e 23 apresentam o comportamento reológico para o suco de banana microfiltrado, polpa *in natura* e polpa tratada enzimaticamente, respectivamente, à temperatura fixa de  $24 \pm 0,1$  °C.

O suco de banana microfiltrado (Figura 21) apresentou uma linearidade nos parâmetros estabelecidos, demonstrando assim um comportamento newtoniano. Por sua vez as polpas (*in natura* e tradada enzimaticamente), Figura 22 e 23, apresentaram comportamento de fluidos pseudoplásticos.

Figura 21. Comportamento reológico para suco de banana microfiltrado, curvas ascendente e descendente.

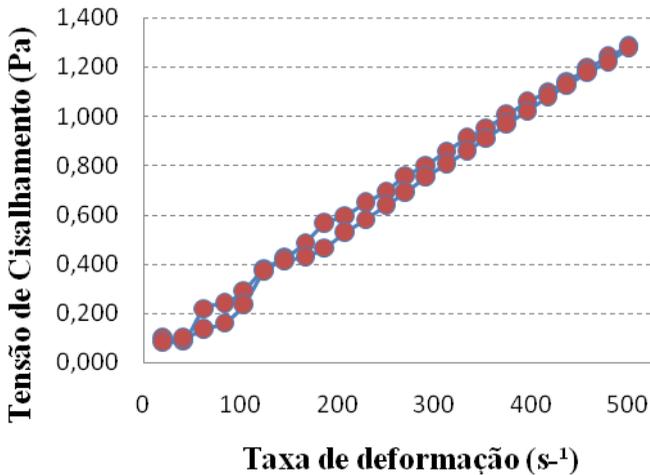


Figura 22. Comportamento reológico para polpa *in natura* de banana curvas ascendente e descendente.

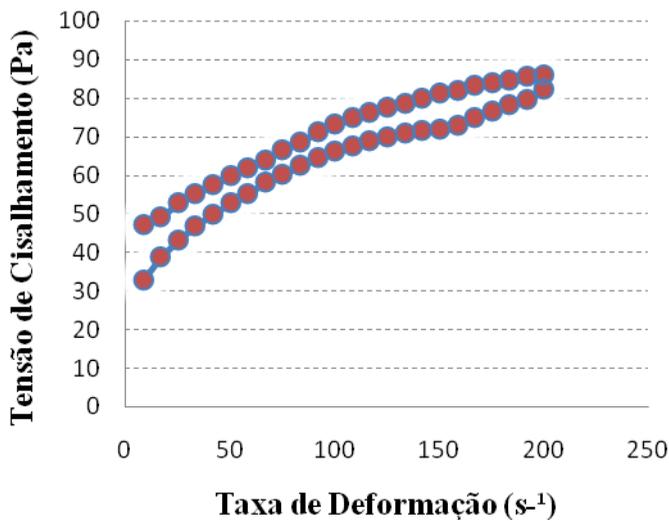
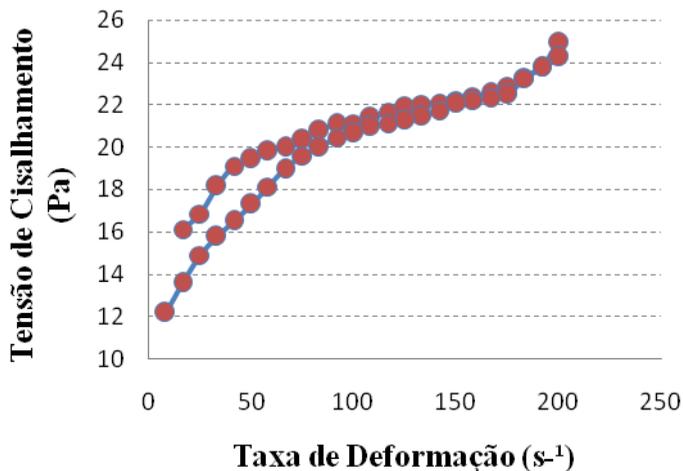


Figura 23. Comportamento reológico para polpa de banana tratada enzimaticamente, curvas ascendente e descendente.



A Tabela 15 apresenta os valores referentes aos modelos matemáticos e ajustes dos valores de “ $n$ ”, onde apenas o suco microfiltrado (Amostra 1) obteve “ $n$ ” próximo à unidade, caracterizando-o como fluido newtoniano.

Todas as amostras foram submetidas à Lei da Potência, onde fluidos com “ $n$ ” acima de 0,90 foram ajustadas à Lei de Newton e fluidos com “ $n$ ” inferior a 0,90 foram ajustados aos modelos de Herschell – Bulkley e Bingham.

Tabela 15. Modelos matemáticos para o estudo reológico do suco de banana microfiltrado (Amostra 1), polpa *in natura* (Amostra 2) e polpa com tratamento enzimático (Amostra 3).

<b>Lei da Potência</b>			
<b>AMOSTRA</b>	<b>K (Pa.s<sup>n</sup>)</b>	<b><math>n</math></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Amostra 1</b>	0,0036	0,94	0,970
<b>Amostra 2</b>	20,71	0,26	0,900
<b>Amostra 3</b>	9,137	0,21	0,925
<b>Lei de Newton</b>			
<b>AMOSTRA</b>	<b><math>\mu_a</math> (mPa.s)</b>	<b><math>n</math></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Amostra 1</b>	0,0026	1,1	0,992
<b>Modelo Herschell-Bulkley</b>			
<b>AMOSTRA</b>	<b><math>\tau_0</math> (Pa)</b>	<b>K<sub>n</sub> (Pa.s<sup>n</sup>)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Amostra 2</b>	22,7	6,26	0,903
<b>Amostra 3</b>	4,603	5,41	0,924
<b>Modelo de Bingham</b>			
<b>AMOSTRA</b>	<b><math>\tau_0</math> (Pa)</b>	<b>K<sub>b</sub> (Pa.s<sup>n</sup>)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Amostra 2</b>	44,77	0,21	0,86
<b>Amostra 3</b>	15,57	0,04	0,85

Sendo:

$K$ ,  $K_b$  e  $K_h$  são os índices de consistência referentes à: Lei da Potência, Modelo de Bingham e Modelo de Herschell-Bulkley, respectivamente;

$\tau_0$  é a Tensão de cisalhamento mínima;

$\mu_a$  é a viscosidade aparente;

$R^2$  é o coeficiente de determinação.

Nota-se que as amostras 2 e 3, referentes a polpa *in natura* e polpa tratada enzimaticamente, como já citado, apresentaram comportamento típico a fluidos pseudoplásticos.

Esse comportamento de pseudoplasticidade pode ser explicado pela presença acentuada de sólidos em suspensão na polpa de banana *in natura* e polpa tratada enzimaticamente.

Ao plotar os valores de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação haverá a obtenção de uma linha convexa na parte superior, confirmando que a viscosidade reduzir-se-á mediante aumento da taxa de deformação (SHARMA, 2000). A redução da viscosidade aparente é explicada, pela modificação da estrutura das moléculas de cadeia longa, deixando-as alinhadas a corrente e diminuindo a resistência ao escoamento (HOLDSWORTH, 1971). A conformação convexa fora observada na Figura 22 e 23.

Uma tensão mínima ( $\tau_0$ ) é considerada nos modelos de Herschell-Bulkley e Bingham.

Os modelos matemáticos referentes à lei da potência, lei de Newton e modelo de Herschell-Bulkley se ajustaram bem, pois o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) nesses modelos foram superiores a 0,90.

Os valores de ( $\tau_0$ ) ficaram mais próximos do zero no modelo de Herschell-Bulkley, modelo esse expressando melhor ajuste quando comparado ao de Bingham.

$K_b$  e  $K_h$  representam o grau de resistência do fluido ao escoamento e são conhecidos como índice de consistência de cada modelo (Herschell-Bulkley e Bingham), logo quanto maior os valores para esses parâmetros, mais viscoso são os fluidos.

O  $K_b$  e  $K_h$  da amostra 2 são superiores ao da amostra 3, resultado esse coerente, pois a viscosidade da polpa *in natura* é superior ao da polpa tratada enzimaticamente.

Arend (2016), ao estudar a microfiltração de suco de morango, determinou que o suco clarificado apresentou características de um fluido newtoniano.

Por sua vez, Pelegrine *et al.* (2000), no estudo da viscosidade aparente das polpas de manga e abacaxi, avaliaram o comportamento reológico das polpas integrais e centrifugadas à temperatura de 30 °C. Um comportamento pseudoplástico foi observado em todos os tratamentos, sendo mais acentuado nas polpas integrais.

Vidal e Gasparetto (2000) em estudo com polpas de manga, também observaram e confirmaram um comportamento de fluido pseudoplástico.

## 6 CONCLUSÕES

Diante os resultados obtidos observa-se que o uso da polpa de banana como matéria-prima para a fabricação de bases neutras clarificadas e desaromatizadas pode ser bastante atrativa em termos de rendimento e aplicabilidade para uso como bases na formulação de *blends* de sucos de frutas tropicais ou de clima temperado. Algumas conclusões podem ser aqui elencadas e dentre estas podem-se citar:

Em relação ao pré-tratamento enzimático, pode-se concluir que a utilização de enzimas com atividade celulolítica interfere negativamente na densidade dos fluxos de permeados, enquanto que a combinação das enzimas pectinolíticas e amilolíticas nas dosagens de 500 mg.L<sup>-1</sup> e 1000 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, em um tempo de 60 minutos de maceração possibilitou a obtenção de um fluxo médio de permeado superior a 140 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> evidenciando a eficiência do tratamento.

Observou-se também que entre as resistências influentes nas membranas de MF, a que mais influenciou foi a relacionada ao *fouling* (73,07 %), seguida da resistência proveniente da concentração pela polarização (19,89%) e resistência da membrana (7,04%).

O tratamento de adsorção em resinas poliméricas (XAD 4 e XAD 7) em um fluxo de 0,5 BV/min mostrou uma redução dos compostos voláteis, sendo a resina XAD 7 mais eficiente para remoção e redução dos compostos, necessitando de estudos mais aprofundados para identificação e quantificação desses compostos. Ambas as resinas causaram redução significativa nos teores de açúcares e minerais (K, Mg, P, Ca) em relação ao suco apenas microfiltrado, entretanto para os teores de sódio não observou-se alteração expressiva. As resinas XAD 7 e XAD 4 aumentaram significativamente a luminosidade (L\*) do suco clarificado, evidenciando assim que o tratamento de adsorção em resinas poliméricas clarificam, ainda, mais o suco microfiltrado.

Conclui-se também, quanto à reologia, que os modelos testados apresentaram bom ajuste aos dados experimentais exibindo valores de R<sup>2</sup> variando entre 0,85 a 0,99. O suco microfiltrado apresentou comportamento newtoniano, se adequando bem ao ajuste da lei de Newton (R<sup>2</sup> = 0,99), por sua vez a polpa de banana *in natura* e polpa, tratada enzimaticamente, apresentaram comportamento pseudoplástico se ajustando satisfatoriamente ao modelo de Herschell – Bulkley (R<sup>2</sup> = 0,903) e a lei da potência (R<sup>2</sup> = 0,925), respectivamente.

Por fim, pode-se afirmar que existe uma viabilidade técnica na utilização de um modelo de processo associando tecnologias de pré-maceração, seguida de microfiltração e finalizando com uso de resinas poliméricas (XAD 4 e XAD 7) para a elaboração de uma base neutra proveniente da banana (*Musa cavendish*), tendo como finalidade o desenvolvimento e enriquecimento tecnológico de novos produtos.

## 6.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

1. Desenvolver modelos matemáticos para os métodos combinados (pré-tratamento enzimático, microfiltração e adsorção em resinas) no suco de banana.
2. Estudar a clarificação de suco de banana em membranas com diâmetros de poro superior e inferior a  $0,2 \mu\text{m}$  e de outros materiais.
3. Estudar a variação do *Bed Volume* da coluna de adsorção em relação à retenção de compostos voláteis do suco de banana.
4. Quantificar os compostos voláteis antes e pós-adsorção em resinas poliméricas.
5. Formular *blends* e avaliar sensorialmente a influência do suco base neutra de banana nos mesmos.
6. Enriquecer sucos e bebidas mistas com o suco base neutra de banana e avaliar o efeito quanto aos teores de açúcares e minerais.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, F.; PEREZ, A. M.; DORNIER, M.; REYNES, M.. Potentialités de la microfiltration tangentielle sur membranes minérales pour la clarification du jus de pomme de cajou. **Fruits**, v. 60, n. 01, p. 33–40, 2005.
- ANTONIO, P. **Adsorção de di-2-piridil cetona saliciloilhidrazona em sílica-gel**. Dissertação de Mestrado, IQ-USP. São Paulo - SP, p. 5-51, 2003.
- AREND, G. D.; ADORNO, W. T.; REZZADORI, K.; DI LUCCIO, M.; CHAVES, V. C.; REGINATTO, F. H.; PETRUS, J. C. C. Concentration of phenolic compounds from strawberry (*Fragaria X ananassa* Duch) juice by nanofiltration membrane. **Journal of Food Engineering**, v. 201, p. 36-41, 2017.
- AICHINGER, P.A.; MICHEL, M.; SERVAIS, C.; DILLMANN, M.L.; ROUVET, M.; D'AMICO, N.; ZINK, R.; KLOSTERMEYER, H.; HORNE, D.S. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chymosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 3, p. 243-255, 2003.
- BAKER, Richard W. **Membrane technology and applications**. 2. Ed. California: McGraw-Hill, 2004. 545p.
- BALDASSO, C.; BARROS, T. C.; TESSARO, I. C. Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. **Desalination**, v. 278, p. 381-386, 2011.
- BARROS, S. T. D.; ANDRADE, C ; MENDES, E ; PERES, L . Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration. **Journal of Membrane Science**, Irlanda, v. 215, p. 213-224, 2003.
- BICALHO, B. ; PEREIRA, A. S. ; AQUINO NETO, F. R.; PINTO, A. C.; REZENDE, C. M. Application of high-temperature gas chromatography-mass spectrometry to the investigation of glycosidicallybound components related to cashew apple

(*Anacardium occidentale* l. var. *nanum*) volatiles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 4, p. 1167–1174, 2000.

BOURNE, M. C., 2002. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**, second ed. Academic Press, San Diego, CA, pp. 427.

BHATTACHARYA, S. N. **Rheology: Fundamentals and Measurements**. Australia: Royal Melbourne Institute of Technology, 1997.

CARNEIRO, L.C.; GOMES, F.S.; FURTADO, A.A.L.; CABRAL, L.M.C. Esterilização de suco de abacaxi por microfiltração. **Embrapa Agroindústria de Alimentos**, n. 39, p.1-6, 2000.

CASSANO, A.; DONATO, L.; DRIOLI, E. Ultrafiltration of kiwifruit juice: Operating parameters, juice quality and membrane fouling. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 613-621, 2007.

CASSANO, A.; DRIOLI, E.; GALAVERNA, G.; MARCHELLI, R.; DI SILVESTRO, G.; CAGNASSO, P. Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane processes. **Journal of Food Engineering**, v. 57, n. 2, p.153-163, apr. 2003.

CASTRO, T. R.; ABREU, F. A. P; CARIOCA, J. O. B. Obtenção de suco clarificado de caju utilizando processos de separação por membranas. **Revista de Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p.164-168, 2007.

CAUTELA, D.; CASTALDO, D.; SERVILLO, L.; GIOVANE, A. Enzymes in citrus juice processing. In: **ENZYMES in fruit and vegetable processing. Chemistry and Engineering Applications**. London: CRC Press, 2010.

CHERYAN, M. **Ultrafiltration and Microfiltration Handbook**. Lancaster: CRC Press, 1998.

CIANCI, F. C.; SILVA, L. F. M.; CABRAL, L. M. C.; MATTA, V. M. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 579-583, jul./set. 2005.

CIÊNCIA DE AGRICULTOR. **Grau de maturação da banana.** Disponível em: [http://cienciaeagricultor.blogspot.com.br/2013\\_08\\_01\\_archive.html](http://cienciaeagricultor.blogspot.com.br/2013_08_01_archive.html)> Acesso em: 12 Jan 2017.

CISSE, M.; VAILLANT, F.; PÉREZ, A.; DORNIER, M. The quality of orange juice processed by coupling crossflow microfiltration and osmotic evaporation. **International journal of food science & technology**, v. 40, n. 1, p. 105–116, 2005

CLARETO, S. S. **Estudo da concentração de licopeno da polpa de goiaba utilizando o processo de microfiltração.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, FEA/UNICAMP, Campinas, SP.

CORREIA, A. A. S.; GONZAGA, M. L. C.; AQUINO, A. C.; SOUZA, P. H. M.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A. Chemical and physical-chemical pulp noni (*Morinda citrifolia*) grown in the state of Ceará. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 22, n. 4, p. 609–615, 2012.

D'SOUZA, N. M.; MAWSON, A. J. Membrane cleaning in the dairy industry: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 45, n. 2, p. 125–134, 2005.

EGAWA, E.Y. **Caracterização térmica e reológica de blendas de glicerol: colágeno tipo I de diferentes tecidos.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. **Cultivo da banana.** 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 27 Mar. 2016.

GIRARD, B.; FUKUMOTO, L. R. Membrane processing of fruit juices and beverages: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 40, p. 91-157, 2000.

GODOY, R. C. B. de.; WASZCZYNSKJ, N.; SANTANA, F. A.; SILVA, S. O.; OLIVEIRA, L. A.; SANTOS, G. G. Physico-

chemical characterization of banana varieties resistant to black leaf streak disease for industrial purposes. **Ciência Rural**, v. 6, p. 1514-1520, 2016.

GRIGSON, J. **Fruit book**. New York: Atheneum, 1999.

HABERT, A.; C; BORGES, C.P.; NOBREGA, R. **Processos de Separação com Membranas**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2006.

HORST, H. C. V.; HANEMAAIJER, J. H.. “ Cross – flow microfiltration in the food industrial. State of the art”. **Desalination**, v. 77, pp. 235 – 258, 1990.

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, v. 2, p. 393-418, 1971.

HOLDSWORTH, S. D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. **Transactions of the Institution of Chemical Engineers**, v. 71, part C, p. 139-179, 1993.

HUBBARD, K. L.; FINCH, J. A.; DARLING, G. D. The preparation and characteristics of poly (divinylbenzene-co-ethylvinylbenzene), including Amberlite XAD-4. Styrenicresins with pendant vinylbenzene groups. **Reactive and Functional Polymers**, v. 36, n. 1, p. 17-30, 1998.

HUNTERLAB. **Applications note: CIE L\*a\*b\* color scale**. Virginia, v. 8, n. 7, p. 1-4, 1996.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 4. ed.** São Paulo: IMESP, 2005. p. 726-729.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 4. ed.** São Paulo: IMESP, 2005. p. 734-736.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2015. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 Jan. 2017.

KASTER, B. **Efeitos das condições operacionais na microfiltração do suco de maçã**. 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LAORKO, A.; LI, Z.; TONGCHITPAKDEE, S.; CHANTACHUM, S.; YOURAVONG, W. Effect of membrane property and operating conditions on phytochemical properties and permeate flux during clarification of pineapple juice. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 3, p. 514 – 521, 2010.

LEE, H. S.; KIM, J. G. Effects of debittering on red grapefruit juice concentrate. **Food Chemistry**, v. 82, n. 2, p. 177–180, 2003.

MACHADO, J.C.V. **Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria de petróleo**. Rio de Janeiro: Editora Interferência Ltda, p. 3-109, 2002.

MASSON, L.M.P.; ROSENTHAL, A.; CALADO, V.M.A.; DELIZA, R.; TASHIMA, L. Effect of ultra-high pressure homogenization on viscosity and shear stress of fermented dairy beverage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 495-501, 2011.

MARQUARDT, M., LIMA, V. L. E. A síntese orgânica em fase sólida e seus suportes poliméricos mais empregados. **Química Nova**. v.24, n.6, p. 846-855, 2001.

MARSHALL, A. D; DAUFIN, G. Physico-chemical aspects of membrane fouling by dairy fluids. In: **Fouling and cleaning in pressure driven membrane processes**. Brussels: International Dairy Federation, cap.1, p. 8-35, 1995.

MATTA, V. M.; CABRAL, L. M. C.; SILVA, L. M. M. Suco de acerola microfiltrado: avaliação da vida-de-prateleira. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 293- 297, 2004.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426 — 428, 1959.

MIRANDA, S. H. G.; OZAKI, V. A.; FONSECA, R.; MORTATTI, C. M. Perspectives of the bilateral trade china-brazil: evaluation through a gravity model approach. **International Agricultural Trade Research Consortium**. Summer Meetings, Beijing, 2007.

MIRSAEEDGHAZI, H.; DJOMEH, Z. E.; , MOUSAVI, S. M.; AROUJALIAN, A.; NAVIDBAKHSD, M. Clarification of pomegranate juice by microfiltration with PVDF membranes. **Desalination**, v. 264, n. 3, p. 243 – 248, 2010.

MOZAFFAR, Z.; MIRANDA, Q. R.; SAXENA, V. **Flowing fluid, ie, grapefruit juice, through adsorbent bed of styrene-divinylbenzene resin to isolate bitter flavor compounds**. Google Patents, 4 abr. 2000.

MULDER, M. **Basic principles of membrane technology**.[s.l.] Springer Science &Business Media, 1996.

MULDER, M. **Basic principles of membrane technology, center for membrane science and technology**, University of Twente, The Netherlands, 2000.

NETO, R. M. S. **Inovação tecnológica para aproveitamento de melão amarelo como suco base clarificado desaromatizado e concentrado**. Tese(Doutorado em tecnologia de processos químicos e bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

ORDÓNEZ, J.A.; RODRÍGUEZ, M.I.C.; ÁLVAREZ, L.F.; SANZ, M.L.G.; MINGUILLÓN, G.D.G.F.; PERALES, L.H.; CORTECERO, M.D.S. **Tecnología de alimentos - Alimentos de origem animal**. Porto Alegre: Artmed, v. 2, 2005.

PAULA, B.; MOARES, I.V.M.; CASTILHO, C.C.; GOMES, F.S.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Melhoria na eficiência da clarificação de suco de maracujá pela combinação dos processos de microfiltração e enzimático. **Boletim do CEPPA**, v. 22, n.2, p. 311-324, 2004.

- PELEGRINE, D.H.; VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (*Keitt*) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 20, 2000.
- PENHA, E. das M.; BRAGA, N. C. A. S.; MATTA, V. M. da; CABRAL, L. M. C.; DELLA MODESTA, R. C.; FREITAS, S. C. de. Utilização do retentado da ultrafiltração do suco de acerola na elaboração de licor. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 19, n. 2, p. 267-276, 2001.
- RAI, C.; RAI, P.; MAMJUDAR, G. C.; DE, S. Mechanism of permeate flux decline during microfiltration of watermelon (*Citrullus lanatus*) juice. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, n. 4, p. 545-553, 2010.
- RAO, M. A.; TATTIYAKUL, J. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. **Carbohydrate Polymers**, v. 38, p. 123-132, 1999.
- RAO, A. M. **Rheology of fluid and semisolid fluids: principles and applications**, 1. ed. Maryland: An Aspen Publication, 1999. 433 p.
- RAZI, B.; AROUJALIAN, A.; FATHIZADEH, M. Modeling of fouling layer deposition in cross-flow microfiltration during tomato juice clarification. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 4, p. 841-848, 2012.
- REKTOR, A.; VATAI, G. Application of membrane filtration methods for must processing and preservation. **Desalination**, v. 162, p. 271-277, 2004.
- REZZADORI, K.; PETRUS, R. R.; BENEDETTI, S.; CARMINATTI, C.; PETRUS, J. C. C. Concentration of soybean isoflavones by nanofiltration and the effects of thermal treatments on the concentrate. **Food Research International**, v. 50, p. 625-632, 2013.
- RODRIGUES, R.B. **Aplicação dos processos de separação por membranas para produção de suco clarificado e concentrado de**

**camucamu (*Myrciaria dubia*)**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ROHM AND HASS COMPANY. **Product Information**. Disponível em: <[www.rohmhassa.com](http://www.rohmhassa.com)> Acesso em: 28 Jan 2017.

RUTLEDGE, P. Producción de derivados no fermentados de la fruta *In*: ARTHEY, D.; ASHURST, P.R. **Processado de frutas**. Zaragoza: Acribia, 1997. p. 77-104.

SABLANI, S. S. ; GOOSEN, M. F. A.; AI-BELUSHI, R.; WILF, M. Concentration polarization in ultrafiltration and reverse osmosis: A critical review, **Desalination**, v. 141, p. 269-289, 2001.

SANTIN, M. M.; TREICHEL, H.; VALDUGA, E.; CABRAL, L. M. C.; DI LUCCIO, M. Evaluation of enzymatic treatment of peach juice using response surface methodology. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, p. 507-512, 2008.

SEBRAE. Estudo de Mercado SEBRAE/ESPM – 2008. **Banana**. Relatório Completo. Disponível em: <[http://201.2.114.147/bds/bds.nsf/8E2336FF6093AD96832574DC0045023C/\\$File/NT0003904A.pdf](http://201.2.114.147/bds/bds.nsf/8E2336FF6093AD96832574DC0045023C/$File/NT0003904A.pdf)>. Acesso em: 30 Set 2016.

SHARMA, S. K.; MULVANEY, S. J.; RIZVI, S.S.H. **Food processing engineering: theory and laboratory experiments**. United States of America: Wiley-Interscience, 2000.

SHEET, P. D. AMBERLITE® XAD7HP. **Amberlite™ XAD™ Product Literature, Rohm and Hass Company**, 2003.

SILVA, T.T.; MODESTA, V.M.; MATTA, V.M.; PENHA, E.M.; CABRAL, L. M. C.. Avaliação da qualidade do suco de maracujá orgânico processado por microfiltração. *In*: **4º Congresso Ibero - americano de Ciência e Tecnologia de Membranas - CITEM**, Florianópolis, SC, Jul, pp. 268 - 273, 2003.

SULAIMAN, S. F.; YUSOFF, N. A. M.; ELDEEN, I. M.; SEOW, E. M.; SAJAK, A. A. B.; OOI, K. L. Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian

bananas (*Musa sp.*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p.1–10, 2011.

SZUROMI, E.; SHEN, H.; GOODALL, B. L.; JORDAN, R. F. Polymerization of norbornene and methyl acrylate by a bimetallic palladium (II) allyl complex. **Organometallics**, v. 27, n. 3, p. 402–409, 2008.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 147-156, 2005.

TRESSL, R.; JENNINGS, W. G. Production of volatile compounds in the ripening banana. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.20, p.460–465, 1972.

TREVELYAN, W.E.; HARRISON, T.S. Dosagem de glicídeos totais pelo método de antrona. **J.Biochem.**, v. 50, p. 292, 1952.

TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; VENDRUSCOLO, C.T. Reologia de purê homogeneizado de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, p. 1-8, 2006.

UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas): **Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação –NEPA, Tabela Brasileira de Composição de Alimentos –TACO 4ª Ed.**, Campinas –SP, 161p. 2011.

USHIKUBO, F.Y.; WATANABE, A.P.; VIOTTO, L.A. Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice using polypropylene membrane. **Desalination**, v. 200, p. 549-551, 2007.

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.

VAILLANT, F.; MILLAN, A.; DORNIER, M.; DECLoux, M.; REYNES, M.. Strategy for economical optimisation of the clarification

of pulpy fruit juices using crossflow microfiltration. **Journal of Food Engineering**, v. 48, n. 1, p. 83–90, 2001.

VAILLANT, F.; CISSE, M.; CHAVERRI, M.; PEREZ, A.; DORNIER, M.; VIQUEZ, F.; DHUIQUE-MAYER, C. Clarification and concentration of melon juice using membrane processes. **Innovative Food Sciences & Emerging Technologies**, v. 6, n. 2, p. 213-220, jun. 2005.

VAILLANT, F.; PÉREZ, A. M.; ACOSTA, O.; DORNIER, M. Turbidity of pulpy fruit juice: A key factor for predicting cross-flow microfiltration performance. **Journal of Membrane Science**, v. 325, n. 1, p. 404–412, 2008.

VANTAGENS **claras com a nova geração de Pectinex Max**. Disponível em: < <http://www.novozymes.com.br>>. Acesso em: 25 dez. 2016.

VLADISAVLJEVIC, G.T.; VUKOSAVLJEVIC, P.; BUKOVIC, B. Permeate flux and fouling resistance in ultrafiltration of depectinized apple juice using ceramic membranes. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 241-247, 2003.

WANG, B.-J.; WEI, T. C.; YU, Z. R. Effect of operating temperature on component distribution of West Indian cherry juice in a microfiltration system. **LWT - Food Science and Technology**, v. 38, n. 6, p. 683–689, 2005.

WATANABE, A. P. ; USHIKUBO, F. Y. ; VIOTTO, L. A. Evaluation of permeate flux in microfiltration of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice using polypropylene membrane efeito do tratamento enzimático, da velocidade tangencial e da pressão transmembrana. **Desalination**, v. 200, p. 337 - 338, 2006.

ZEMAN, L. J.; ZYDNEY, A. L. **Microfiltration and ultrafiltration: principles and applications**. Ed. Marcel Dekker, New York, 618 p. 1996.



