

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**DISSERTAÇÃO**

**Avaliação da qualidade de suco de abacaxi (*Ananas  
comosus* L. merr cv. *Smooth Cayenne*) concentrado por  
osmose inversa.**

**Daniel Simões Couto**

**2008**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**DE ALIMENTOS**

**Avaliação da qualidade de suco de abacaxi (*Ananas comosus* L. merr cv. *Smooth Cayenne*) concentrado por osmose inversa.**

**Daniel Simões Couto**

*Sob a Orientação da Pesquisadora*

**Lourdes Maria Corrêa Cabral**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de alimentos.

Seropédica, RJ  
Março de 2008

641.34774  
C117a  
T

Couto, Daniel Simões, 1980-  
Avaliação da qualidade de suco de  
abacaxi (Ananas comosus L. merr cv.  
Smooth Cayenne) concentrado por osmose  
inversa / Daniel Simões Couto. - 2008.  
60 f. : il.

Orientador: Lourdes Maria Corrêa  
Cabral.

Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro,  
Instituto de Tecnologia.  
Bibliografia: f. 49-56.

1. Abacaxi - Qualidade - Teses. 2.  
Suco de frutas concentrado - Teses. 3.  
Separação (Tecnologia) - Teses. 4.  
Consumidores - Preferência - Teses. I.  
Cabral, Lourdes Maria Corrêa, 1958-. II.  
Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Instituto de Tecnologia. III.  
Título.

Bibliotecário: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE**  
**ALIMENTOS**  
**DANIEL SIMÕES COUTO**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de alimentos

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 03/ 03/ 2008

---

Dra. Lourdes Maria Corrêa Cabral  
Embrapa Agroindústria de Alimentos  
(Orientador)

---

Dra. Virgínia Martins da Matta  
Embrapa Agroindústria de Alimentos

---

Profa. Dra. Stella Regina Reis da Costa  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

---

Profa. Dra. Cristiane Hess  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha namorada Aline Bravo, além de todos que me apoiaram para que este momento se realizasse.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e avós pela educação recebida e por financiarem mais esta etapa da minha vida.

A minha namorada e companheira de trabalho Aline Bravo, pela ajuda durante o projeto.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Departamento de Tecnologia de Alimentos e à EMBRAPA Agroindústria de alimentos pela oportunidade na realização deste trabalho.

A Dra. Lourdes Cabral, por ter aceitado esta orientação, ter sido uma grande incentivadora do meu trabalho e acima de tudo pela amizade e pelo carinho com que sempre me tratou.

Aos integrantes da banca Dra. Virgínia Martins da Matta, Profa. Dra. Cristiane Hess e Profa. Dra. Stella Regina Reis da Costa por revisarem este trabalho.

Aos assistentes de pesquisa da Embrapa Agroindústria de alimentos, Flávia Gomes, Sérgio Pontes (Filé), William e Luis Fernando (Chorão) pela amizade e colaboração nos processos e análises de laboratório.

Aos pesquisadores da Planta de Operações Unitárias, Dra. Ângela Furtado e Dr. Edmar Penha, pela amizade e ajuda em diversos momentos.

Aos pesquisadores e técnicos da planta 4, especialmente Francisco e David pelo auxílio na utilização da centrífuga.

As pesquisadoras Rosires Deliza e Daniela Freitas, assistentes Aline Silva e José Carlos, e estagiários do laboratório de análise sensorial pela ajuda nos testes sensoriais e análises instrumentais.

Aos meus amigos e colegas de mestrado por me ajudarem durante as disciplinas.

Aos amigos que fiz na planta 2 da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Mônica Pagani, Poliana, Ana Paula, Flávia Pingo, Isabella Costa, Cristina, Alcilucia, Denise, Renata, Isabelle e Ângela, que sempre me deram força e estímulo para continuar este trabalho além de tornarem o trabalho muito mais divertido.

Aos professores Carlos Magno Barros e Alexandre Gonçalves Soares pelo apoio e o incentivo recebidos para minha entrada neste desafio, desde a graduação em outra instituição de ensino.

E a todos os amigos e parentes que sempre estiveram ao meu lado nos bons e nos maus momentos.

## RESUMO

COUTO, Daniel Simões. **Avaliação da qualidade de suco de abacaxi (*Ananas comosus* L. merr cv. *Smooth Cayenne*) concentrado por osmose inversa**. 2008. 60 p Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de suco de abacaxi concentrado pelo processo de osmose inversa. O suco de abacaxi foi obtido pelo despulpamento dos frutos, sendo posteriormente centrifugado para a padronização do teor de sólidos totais. Os testes de osmose inversa foram realizados com membranas compostas de poliamida, em módulo de configuração quadro e placas. Foi definida a melhor condição de processo, através de um planejamento fatorial completo, sendo as variáveis independentes a temperatura e a pressão aplicada à membrana, e as dependentes, parâmetros relacionados à qualidade do suco. O suco foi submetido às diferentes condições de processo, em regime estacionário, ou seja, sem que houvesse concentração. O processo conduzido a 60 bar e 40°C apresentou o maior fluxo permeado, 38 L/hm<sup>2</sup>. As amostras não apresentaram diferença significativa entre si em relação à sua qualidade físico-química, porém, após o teste de preferência, verificou-se que havia diferença na qualidade sensorial das amostras. O suco processado a 60 bar e 20°C foi o preferido pelos consumidores que participaram do teste, sendo esta condição selecionada para a concentração do suco de abacaxi. O processo de concentração apresentou fluxo permeado médio de 9 L/hm<sup>2</sup>. O suco concentrado atingiu um teor de sólidos solúveis de 31°Brix, correspondendo a um fator de concentração volumétrico de 2,8. As propriedades físico-químicas aumentaram proporcionalmente ao fator de concentração. Os testes de preferência e intenção de compra, realizados a partir da comparação deste produto com três amostras comerciais de suco de abacaxi concentrado, revelaram que os consumidores preferiram o suco obtido por osmose inversa, conferindo-lhe as maiores notas. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que o processo de osmose inversa foi eficaz na pré-concentração de suco de abacaxi, garantindo a manutenção da sua qualidade físico-química e sensorial.

**Palavras-chave:** Concentração a frio, suco de fruta, preferência, consumidores

## ABSTRACT

COUTO, Daniel Simões. **Evaluation of the quality of pineapple juice (*Ananas comosus* L. merr cv. *Smooth Cayenne*) concentrated by reverse osmosis**. 2008. 60 p Dissertation (Master Science in Food Science and Technology). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

This work aims to evaluate the quality of pineapple juice concentrated by reverse osmosis. The juice was obtained by depulping the pineapple fruits and centrifuging for the standardization of the total solids content. The reverse osmosis trials were carried out with polyamide composite membranes, in plate and frame configuration module. The best process condition was defined, through a complete factorial design. The independent variables were temperature and transmembrane pressure and the dependent ones, the quality parameters of the juice. The pineapple juice was submitted to the different process condition, in stationary mode, without concentration. The process accomplished at 60 bar and 40°C presented the highest permeate flux, 38 L/hm<sup>2</sup>. The samples show no significant difference in relation to their physical-chemistry quality, but after the preference tests, it was verified that they were different regarding the sensorial quality. The juice processed at 60 bar and 20°C was the best one for the consumers that participated of the test, being selected as the condition to be used for the concentration of the pineapple juice. The concentration process presented an average permeate flux of 9 L/hm<sup>2</sup>. The concentrated juice reached 31°Brix, corresponding to a volumetric concentration factor of 2.8. The physical-chemistry properties increased proportionally to the concentration factor. The preference and purchase intention tests, accomplished by the comparison of this product with three commercial concentrated pineapple juices, show that the consumers preferred the juice obtained by reverse osmosis, which got the highest notes. The results obtained in this work suggest that the reverse osmosis process was effective in the pre-concentration of pineapple juice, guaranteeing its physical-chemistry and sensorial quality.

**Key-words:** Cold concentration, juice fruit, preference, consumers.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| INTRODUÇÃO   | 1  |
| 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA  | 3  |
| 1.1 Abacaxi ( <i>Ananas comosus</i> L. Merrill)  | 3  |
| 1.1.1 Traços culturais   | 3  |
| 1.1.2 Produção e aspectos mercadológicos   | 5  |
| 1.1.3 Composição química do abacaxi  | 6  |
| 1.1.4 Aplicações do abacaxi e seus subprodutos   | 8  |
| 1.2 Sucos de Frutas  | 8  |
| 1.3 Obtenção do Suco de Abacaxi  | 9  |
| 1.4 Processos Convencionais de Concentração de Sucos de Frutas                               | 10 |
| 1.5 Processos de Separação por Membranas   | 11 |
| 1.5.1 Tipos e características de membranas   | 13 |
| 1.5.2 Osmose inversa   | 14 |
| 1.5.3 Aplicações dos processos de separação por membranas na concentração de sucos de frutas | 17 |
| 1.6 Avaliação Sensorial  | 20 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS   | 22 |
| 2.1 Matéria-Prima  | 22 |
| 2.2 Despulpamento  | 22 |
| 2.3 Centrifugação  | 23 |
| 2.4 Concentração por osmose inversa  | 24 |
| 2.4.1 Permeabilidade hidráulica  | 24 |
| 2.4.2 Permeabilidade ao suco   | 24 |
| 2.4.3 Limpeza do equipamento   | 24 |
| 2.4.4 Módulo de configuração espiral – testes preliminares                                   | 25 |
| 2.4.5 Módulo de configuração quadro e placas   | 26 |
| 2.4.5.1 Planejamento experimental  | 26 |
| 2.4.5.2 Processo de concentração   | 27 |
| 2.5 Métodos Analíticos   | 27 |
| 2.5.1 Análise sensorial  | 28 |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.5.1.1 Teste de doçura ideal   | 29        |
| 2.5.1.2 Teste de diluição ideal   | 29        |
| 2.5.1.3 Teste de preferência e intenção de compra                         | 29        |
| 2.6 Análise Estatística   | 30        |
| <br>  |           |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>   | <b>31</b> |
| 3.1 Despolpamento   | 31        |
| 3.2 Centrifugação   | 31        |
| 3.3 Processo de Osmose Inversa no Módulo Espiral                          | 32        |
| 3.3.1 Permeabilidade  | 32        |
| 3.3.2 Processo de concentração  | 33        |
| 3.4 Processos de Osmose Inversa em Módulo Quadro e Placas                 | 35        |
| 3.4.1 Permeabilidade  | 35        |
| 3.4.2 Testes do planejamento experimental                                 | 36        |
| 3.5 Análise sensorial (Planejamento Experimental)                         | 38        |
| 3.5.1 Definição da doçura ideal   | 38        |
| 3.5.2 Teste de preferência  | 39        |
| 3.6 Processo de Concentração por Osmose Inversa no Módulo Quadro e Placas | 40        |
| 3.7 Análise Sensorial (Processo de Concentração)                          | 44        |
| 3.7.1 Teste de diluição ideal   | 44        |
| 3.7.2 Teste de preferência e intenção de compra                           | 44        |
| 3.8 Análise Cromatográfica  | 46        |
| <br>  |           |
| <b>4 CONCLUSÕES</b>   | <b>47</b> |
| <br>  |           |
| <b>5 SUGESTÕES</b>  | <b>48</b> |
| <br>  |           |
| <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                                       | <b>49</b> |
| <br>  |           |
| ANEXO A – Gráficos de Pareto  | 57        |
| ANEXO B – Modelos de fichas dos testes sensoriais                         | 58        |
| ANEXO C – Perfil dos participantes dos testes sensoriais                  | 60        |



## INTRODUÇÃO

O abacaxi é uma fruta muito apreciada pelo seu sabor e aroma peculiares, fazendo dele uma das frutas de maior importância econômica no mundo. Por ser uma fruta de clima tipicamente tropical e de regiões bem definidas, há um crescimento na produção da fruta pelos países situados em regiões propícias para seu cultivo.

Por ser um país situado em uma região geográfica bem diversificada, o Brasil apresenta uma grande variedade de frutas, dentre as quais se destacam as tropicais. Estas frutas são importantes produtos para a exportação, tanto na forma de fruta *in natura*, quanto na forma de alimentos processados, tais como sucos, geléias, entre outras, sendo o abacaxi uma das frutas mais exportadas, principalmente na forma de suco (FURLAN, 2001).

Atualmente, há uma grande demanda por parte da população por alimentos saudáveis e naturais, fazendo com que as bebidas à base de frutas sejam bastante consumidas nas diversas faixas etárias e classes sociais. Entretanto, os sucos de frutas são produtos altamente perecíveis, que precisam ser submetidos a algum processo de conservação para que possam ser comercializados.

A produção de sucos de frutas é um processo importante do ponto de vista de valor agregado à matéria prima, pois permite que frutas produzidas em regiões tropicais sejam transportadas e comercializadas nas mais diversas regiões do mundo. Para a redução dos custos de transporte e embalagem, bem como para o aumento da sua vida útil, os sucos são normalmente concentrados, diminuindo assim o seu volume e a atividade de água.

Normalmente, a conservação e a concentração dos sucos são realizadas por tratamentos térmicos, podendo haver redução ou perda das substâncias que conferem sabor e aroma aos mesmos, além da degradação dos compostos nutricionais (GAVA, 1989)

A tecnologia de membranas apresenta-se como uma opção aos processos clássicos de conservação e concentração, no processamento de sucos de frutas e bebidas com garantia de qualidade, tanto higiênica quanto sensorial e nutricional.

Os processos com membranas podem ser empregados em diversos setores da área de bebidas, tais como a concentração e a clarificação de sucos, a estabilização microbiológica de cervejas e vinhos, além do fracionamento visando a obtenção de substâncias específicas para elaboração de novos produtos (MULDER, 1991).

Estes processos são operados à temperatura ambiente, não necessitando do uso de calor, garantindo a manutenção dos compostos de aroma e do frescor dos produtos, bem como suas características nutricionais. Para que haja a separação dos compostos é aplicada uma força motriz, que pode ser a diferença de concentração, pressão, temperatura ou potencial elétrico entre os dois lados da membrana (MULDER, 1991; HABERT, BORGES & NOBREGA, 2006).

A osmose inversa é um processo de separação com membranas que pode ser utilizado na concentração de sucos de frutas. Neste caso, a força motriz é a diferença de pressão aplicada à membrana. O processo é conduzido à temperatura ambiente com pressões variando entre 10 bar e 70 bar, com membranas densas, resultando que o material que permeia a

membrana é basicamente a água. Este processo vem sendo bastante utilizado para dessalinização de águas salobras na região nordeste do Brasil e no oriente médio (HABERT, BORGES & NOBREGA, 2006).

A Embrapa Agroindústria de Alimentos vem desenvolvendo trabalhos sobre a aplicação da osmose inversa na concentração de sucos de frutas tropicais (RODRIGUES, *et al.*, 2004; MATTA *et al.*, 2004; CIANCI *et al.*, 2005; JESUS *et al.*, 2007; LEITE *et al.*, 2007) demonstrando a eficiência deste processo na concentração de sucos sem alteração dos seus atributos sensoriais e ser perda dos compostos de interesse, como as vitaminas e sais minerais.

SÁ e colaboradores avaliaram a aplicação da osmose inversa para concentrar suco de abacaxi previamente microfiltrado. Os experimentos a 60 bar apresentaram fluxo inicial médio de 52 L/hm<sup>2</sup> e o suco concentrado apresentou aproximadamente 31°Brix.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo principal avaliar a concentração de suco centrifugado de abacaxi, por osmose inversa. Especificamente:

- Estudar o efeito da temperatura e da pressão aplicada à membrana para definir a melhor condição de operação do processo de osmose inversa para concentrar suco de abacaxi;
- Avaliar o processo de osmose inversa em módulo de configuração quadro e placas
- Avaliar a qualidade físico-química e sensorial do suco concentrado, comparativamente ao suco centrifugado.

## 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill)

#### 1.1.1 Traços culturais

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* L. Merrill) é provavelmente originário das zonas central e sul do Brasil, sendo a região da Amazônia considerada seu centro de origem por apresentar o maior número de variedades. É uma planta de clima tropical, monocotiledônea, herbácea e perene da família Bromeliácea, com caule curto e grosso, ao redor do qual crescem folhas estreitas compridas e resistentes, quase sempre margeadas por espinhos e dispostas em rosetas (Figura 1). No caule insere-se o pedúnculo que sustenta a inflorescência e depois o fruto (CUNHA, CABRAL & SOUZA, 1999; REINHARDT, SOUZA E CABRAL, 2000).



**Figura 1.** Cultivo do abacaxizeiro.

Fonte: [http://lyndhurstfarm.com/db1/00084/lyndhurstfarm.com/\\_uimages/DSC00005.JPG](http://lyndhurstfarm.com/db1/00084/lyndhurstfarm.com/_uimages/DSC00005.JPG)

Originalmente cultivada em terras recém desmatadas, o abacaxizeiro é considerada uma planta rústica, pois requer poucos tratos culturais para seu crescimento e produção. Suas características morfológicas, anatômicas e fisiológicas lhes permitem sobreviver em condições ambientais adversas (CUNHA, CABRAL & SOUZA, 1999).

O florescimento natural do abacaxizeiro é bastante desuniforme, trazendo prejuízos ao produtor, pois dificulta os tratos culturais e a colheita, inviabilizando a exploração da soca (segundo ciclo) e afetando a comercialização do produto, devido à redução do tamanho médio dos frutos. A floração natural é muito influenciada por condições climáticas, sendo a temperatura ideal para se produzir frutos de boa qualidade entre 21°C e 23°C. Temperaturas acima de 40°C e abaixo de 5°C causam sérios problemas à planta. A planta é exigente em luz, necessitando de 2.500 a 3.000 horas de luz por ano, ou seja, 6,8 a 8,2 horas de luz diária e precisa de 1.200 a 1500 mm de chuva bem distribuída durante o ano. Em locais com períodos secos prolongados, recomenda-se o uso de irrigação. A umidade do ar de 70% ou superior é o

ideal para a cultura (NASCENTE, COSTA & COSTA, 2005). Esta redução no crescimento é notada ao observar-se que o período que vai do plantio até a colheita é de 24 meses no sul do Brasil, enquanto que no norte, mais próximo da linha do Equador, este período é reduzido para 12 meses. GIACOMELLI *et al.* (1979) observaram que frutos da cultivar Smooth Cayenne colhidos no inverno apresentam o dobro da acidez daqueles colhidos no verão.

Os cultivares mais conhecidos no Brasil são: Pérola ou Branco de Pernambuco, Smooth Cayenne, Perolera e Primavera, sendo a cultivar Smooth Cayenne (Figura 2), também conhecida por abacaxi Havaiano, o mais plantado no mundo, correspondendo a 70% da produção mundial. O fruto tem formato cilíndrico, com peso entre 1,5 e 2 kg (Quadro 1), apresenta coroa relativamente pequena e casca de cor amarelo-alaranjada. É a mais adequada para industrialização e consumo *in natura* (CUNHA, CABRAL & SOUZA, 1999; GRANADA, ZAMBIAZI & MENDONÇA, 2004; NASCENTE, COSTA & COSTA, 2005). A cultivar Smooth Cayenne diferencia-se também por apresentar acidez maior do que as outras cultivares (CUNHA, CABRAL & SOUZA, 1999).

**Quadro 1.** Peso médio de algumas cultivares de abacaxi.

| Cultivar        | Peso médio do fruto com “coroa” (g) | “Coroa”        |                        |
|-----------------|-------------------------------------|----------------|------------------------|
|                 |                                     | Peso médio (g) | Comprimento médio (cm) |
| IAC Gomo-de-mel | 1044                                | 77             | 11                     |
| Cayenne         | 1660                                | 220            | 16,7                   |
| Pérola          | 1212                                | 121            | 20,4                   |

Fonte: MATSUDA, 2001 in: GRANADA, ZANBIAZI & MENDONÇA, 2004.



**Figura 2.** Foto de um abacaxi cv. Smooth cayenne interior e de seu corte transversal.

Fonte: <http://www.srjundiai.com.br/imagens/polpaamarela.jpg>

O abacaxizeiro pode manter bons níveis de produtividade, mesmo em regiões onde a disponibilidade de água é limitada graças a sua baixa transpiração e ao uso eficiente da água, além do fato de que suas folhas possuem formato de canaletas, capazes de captar pequenas quantidades de água, até mesmo do orvalho (CUNHA, CABRAL & SOUZA, 1999).

Pode-se observar um potencial produtivo da cultura do abacaxi cv. Smooth Cayenne na região dos Tabuleiros Costeiros do Norte da Bahia, já que mesmo em condições de sequeiro atinge uma produtividade média acima de 80 t/ha, e peso do fruto superior a 1,0 kg para densidades de até 70.000 plantas/há (SANTANA *et al.*, 2001)

A expansão da abacaxicultura no Brasil deparou-se com problemas, dentre os quais se pode destacar: a falta de mudas de boa qualidade e em quantidade suficiente para formação de novas lavouras, ocorrência de pragas e doenças, ausência de viveiristas, inexistência de mudas fiscalizadas, entre outros (RUGGIERO *et al.*, 1994; GORGATTI *et al.*, 1996; CUNHA *et al.*, 1999).

Normalmente, o solo, para a plantação do abacaxizeiro, recebe uma adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. Com relação às características de qualidade do abacaxi, a influência do nitrogênio e do potássio é antagônica e, portanto, deve-se levar em consideração o destino da produção antes de se determinar a relação potássio/nitrogênio. Para o mercado externo e para a indústria de rodela (fatias) esta relação deve ser entre 1,5 e 2,5, com isso se ajusta a relação sólidos solúveis/acidez da polpa, além de conferir maior resistência ao fruto para o transporte de longas distâncias e para facilitar o corte nas indústrias. Para mercados menos exigentes a relação potássio/nitrogênio pode permanecer em faixas inferiores ou até menor do que 1 (REINHARDT, SOUZA E CABRAL, 2000).

### **1.1.2 Produção e aspectos mercadológicos**

O abacaxizeiro é cultivado na Ásia, África e em toda América (Norte, Central e Sul) estando o Brasil entre os três maiores produtores mundiais (TEIXEIRA *et al.*, 2002).

O período de diminuição de oferta, e conseqüente aumento nos preços, ocorre nos meses de fevereiro a maio. Nos meses de junho a outubro têm-se os preços médios e de novembro a janeiro é o período de preços mais baixos da fruta (CUNHA, CABRAL & SOUZA, 1999; GRANADA, ZAMBAZI & MENDONÇA, 2004; NASCENTE, COSTA & COSTA, 2005).

De acordo com o IBGE, o Brasil produziu, até junho de 2007, cerca de 1.720.735 frutos de abacaxi, com uma área plantada de 76 mil hectares e área colhida de 63 mil hectares. O estado que neste ano mais produziu este fruto foi o Pará (367.876.000 frutos) seguido pela Paraíba (350.311.000 frutos) e Minas Gerais (239.456.000 frutos), que até 2002 era o estado com a maior produção (IBGE, 2007).

O Rio de Janeiro está em sétimo lugar em termos de produção, com 94 mil frutos para uma área plantada de apenas 3 mil hectares, área relativamente pequena quando comparada aos estados que mais produzem no país, entretanto apresenta um perfil adequado e propício ao cultivo deste fruto, sendo que as regiões do Norte e Noroeste fluminense e as baixadas litorâneas apresentam uma melhor aptidão agrícola dos solos para a exploração da cultura do abacaxi em escala comercial (MORGADO, AQUINO & TERRA, 2004; IBGE, 2007).

Com 12 mil hectares de área plantada, o município de Floresta, no Pará, é o que apresenta a maior área plantada do país, correspondendo a 800 pequenos e médios produtores. A industrialização do abacaxi na forma de suco tem uma forte influência no aumento da produção nacional, pois garante a comercialização de grande parte da produção, contribuindo para a geração de renda, emprego e desenvolvimento. Em 2003, foram exportadas 5.500

toneladas de suco de abacaxi concentrado, apenas da unidade industrial de Floresta (FILHO, 2005).

Para que o abacaxi nacional melhore a sua posição no mercado exportador devem ser vencidos alguns problemas dentre deles o escurecimento interno da polpa, causado pela exposição do fruto a baixas temperaturas, a coloração verde da casca mesmo quando o fruto está maduro, e a “mancha de chocolate”, mais grave das doenças, especialmente sobre a cultivar Smooth Cayenne, não causando alterações externas dificultando com isso o seu descarte na seleção (BOTREL, 2001).

### **1.1.3 Composição química do abacaxi**

O abacaxi tem sido uma das frutas não-cítricas tropicais e subtropicais mais populares, principalmente por seu sabor atraente e refrescante equilíbrio acidez-doçura (BARTOLOMÉ, RUPÉREZ & FÚSTER, 1995).

O desenvolvimento químico e físico do abacaxi já foi amplamente estudado (GORTNER, 1965; GORTNER & SINGLETON, 1965; SINGLETON, 1965; SINGLETON & GORTNER, 1965). A variação da composição química do abacaxi depende do estágio de maturação e de fatores agrônômicos e ambientais (DULL, 1971; KERMASHA *et al.*, 1987).

A composição química do abacaxi varia muito de acordo com a época em que é produzido. De um modo geral, a produção ocorre no período do verão e gera frutas com maior teor de açúcar e menor acidez. O abacaxi destaca-se pelo valor energético, devido à sua alta composição em açúcares, e valor nutritivo pela presença de sais minerais - cálcio, fósforo, magnésio, potássio, cobre e iodo - e de vitaminas - A, B1, B2 e Niacina. Apresenta teor protéico e de gordura inferiores a 0,5% (GRANADA, ZAMBIAZI & MENDONÇA, 2004). A composição química média do abacaxi pode ser observada no Quadro 2.

Os minerais desempenham funções básicas no organismo humano tais como auxiliar na construção dos tecidos corporais e como componentes de enzimas conhecidas como metaloenzimas. O balanço de íons minerais nos líquidos corpóreos regula a atividade de muitas enzimas, mantém o equilíbrio ácido-base e a pressão osmótica, facilita a transferência pela membrana celular de compostos essenciais. Coletivamente, representam ao redor de 4% a 5% do peso corpórea sendo a metade referente ao cálcio (MAHAN & ESCOTT-STUMP, 1998; WILLIAMS, 2002).

**Quadro 2.** Composição química do fruto abacaxi.

| Componentes     | Quantidade (por 100 gramas) |
|-----------------|-----------------------------|
| Glicídios       | 13,7 mg                     |
| Proteínas       | 0,4 g                       |
| Lipídios        | 0,2 g                       |
| Cálcio          | 18 mg                       |
| Ferro           | 0,5 mg                      |
| Fósforo         | 8 mg                        |
| Fibras          | 0,9g                        |
| Niacina         | 0,8 mg                      |
| Ácido ascórbico | 27,2 mg                     |
| Tiamina         | 80 mcg                      |
| Riboflavina     | 128 mg                      |
| Retinol         | 5 mcg                       |
| Calorias        | 52 Kcal                     |

Fonte: FRANCO (1989).

SOARES *et al.*(2004) determinaram a presença de oito elementos minerais (K, Na, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn) em sucos concentrados comerciais de algumas frutas nacionais, provenientes de diferentes fabricantes. Todas as marcas analisadas eram de circulação nacional. Todos os sucos analisados mostraram-se uma boa fonte de potássio para adultos e crianças. Paralelamente, exibiram níveis baixos de sódio. Para crianças, 300 mL dos sucos de abacaxi e acerola, diluídos de acordo com as instruções do fabricante, podem fornecer 6% e 12% da ingestão diária recomendada de ferro, respectivamente, 38% e 9% da ingestão diária recomendada de manganês e magnésio, respectivamente. Para outros minerais as contribuições para a dieta são marginais, mas não desprezíveis. Valores do teor de minerais em diferentes marcas de suco de abacaxi podem ser observados no Quadro 3.

**Quadro 3.** Concentrações de elementos minerais em sucos concentrados de abacaxi

| Marca         | Teores de elementos minerais (mg/100g) |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|--|------|------|------|------|------|------|------|
|               | K                                      | Na   | Ca   | Mg   | Fe   | Zn   | Cu   | Mn   |
| A             | 606                                    | 12,3 | 77,7 | 50,3 | 2,57 | 0,48 | 0,17 | 1,23 |
| B             | 149                                    | 28,5 | 5,4  | 7,0  | 0,15 | 0,08 | 0,04 | 0,07 |
| C             | 123                                    | 28,2 | 18,0 | 13,1 | 0,34 | 0,07 | 0,04 | 0,74 |
| D             | 107                                    | 13,8 | 18,8 | 12,7 | 0,34 | 0,4  | 0,05 | 0,37 |
| Teores médios | 246                                    | 18,2 | 29,9 | 20,8 | 0,85 | 0,26 | 0,08 | 0,6  |

Fonte: SOARES *et al.*, 2004.

Os polifenóis são comumente encontrados em vegetais e têm sido reportados por seus múltiplos efeitos biológicos, incluindo atividade antioxidante (KÄHKÖNEN *et al.*, 1999). Estudos epidemiológicos sugerem que a habilidade antioxidante, relacionada ao consumo de frutas, fornece benefícios contra doenças do coração. Estudos com animais estão em progresso para determinar se as frutas e também os vegetais podem inibir a arteriosclerose (VINSON *et al.*, 2001), reduzir doenças coronarianas e evitar a agregação de placas nos vasos sanguíneos (HOLLMAN *et al.*, 1996). Já foi demonstrado que frutas cítricas e os sucos estão relacionados à diminuição no índice de acidentes vasculares cerebrais (JOSHIPURA *et al.*, 1999). Estudos demonstram também uma correlação inversa entre o consumo de alimentos saudáveis com a mortalidade em mulheres (KANT *et al.*, 2000).

Recentemente, descobriu-se que vários fenóis e polifenóis possuem atividade antioxidante superior à das vitaminas, usando como modelo a oxidação de lipoproteínas de baixa densidade LDL + VLDL (VINSON *et al.*, 1995).

GARDNER *et al.* (2000) avaliaram a contribuição dos compostos fenólicos em suco de abacaxi, relativa ao potencial antioxidante de sucos de frutas, e verificaram uma quantidade de  $358 \pm 3 \mu\text{g ml}^{-1}$  equivalente de ácido gálico. Uma porção de 78 gramas de abacaxi (frutas fresca) apresenta uma quantidade de 52 mg de compostos fenólicos totais expressos em equivalente de catequina, segundo estudo realizado por VINSON e colaboradores (2001). As frutas possuem alta quantidade e qualidade antioxidante em fenólicos, que podem enriquecer as lipoproteínas de baixa densidade (LDL), protegendo-as assim da oxidação.

#### **1.1.4 Aplicações do abacaxi e de seus subprodutos**

O abacaxi é uma fruta considerada saborosa e de aroma intenso que pode ser utilizado tanto *in natura* quanto industrializado (CUNHA, CABRAL & SOUZA, 1999; GRANADA, ZAMBIAZI & MENDONÇA, 2004; NASCENTE, COSTA & COSTA, 2005).

Diversas podem ser suas aplicações: o caule como matéria-prima para a indústria de alimentos e para a obtenção de álcool etílico e gomas; o restante do abacaxizeiro pode ser usado na alimentação animal, como material fresco ou ensilado; já o seu fruto é consumido ao natural, ou na forma de sorvetes, doces, picolés, refrescos e sucos caseiros. Quando industrializado, o fruto pode apresentar-se como polpa, xarope, geléia, doces em calda ou suco engarrafado. Em regiões secas e quentes obtém-se vinho do fruto doce e fermentado, sendo o suco do fruto verde utilizado como vermífugo em alguns países (ITAL, 1978).

#### **1.2 Sucos de frutas**

As frutas são matérias-primas facilmente deterioráveis e por isso existem hoje na indústria diversas maneiras de inibir as possíveis causas que levam a essa deterioração. Essas reações, que podem ser tanto de origem enzimática quanto de origem microbiana, ocorrem em função das características próprias dos alimentos. Um dos métodos de conservação para as frutas é o seu processamento e a produção de sucos a partir da sua polpa. Esta atividade agroindustrial agrega valor econômico à fruta, evitando desperdícios e minimizando perdas que podem ocorrer durante a comercialização do produto *in natura* (EMBRAPA, 2003).

Sucos de frutas e vegetais são bebidas com alto valor nutricional, pois possuem minerais, vitaminas e outros componentes benéficos para a saúde humana. Infelizmente, durante a transformação industrial, uma grande parte das características que determinam a

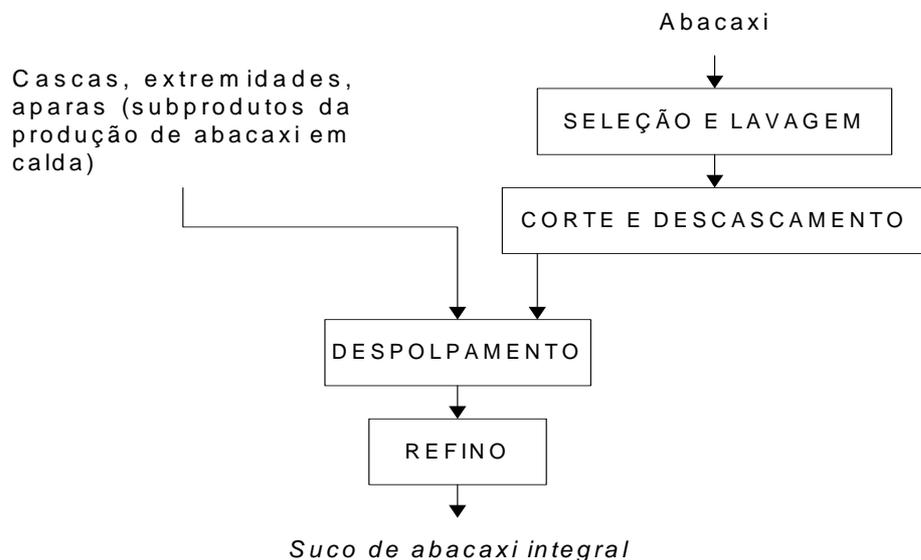
qualidade dos produtos frescos sofre uma modificação extrema, pois o dano térmico e a oxidação química degradam os componentes mais sensíveis reduzindo a qualidade do produto final (CASSANO *et al.*, 2003).

Graças a uma enorme variedade de frutas tropicais, o Brasil possui diversas opções no que diz respeito às exportações de sucos. Além dos tradicionais, há também aqueles elaborados com frutas exóticas, como a graviola, o cupuaçu. Entre os sucos tradicionais, os cítricos, uva, maçã, e abacaxi registram os resultados mais expressivos nas vendas externas, sendo as exportações brasileiras de sucos, direcionadas principalmente para Holanda, Bélgica, Estados Unidos, Japão, Argentina e Alemanha (FURLAN, 2001).

Os sucos de frutas presentes nos mercados são geralmente constituídos por quatro tipos de produtos: sucos frescos, sucos reconstituídos a partir de concentrados; sucos tropicais, que são os produtos não fermentados obtidos pela dissolução, em água potável, da polpa da fruta polposa de origem tropical, por meio de processo tecnológico adequado; e néctares, que são bebidas não fermentadas, obtidas da dissolução, em água potável, da parte comestível do fruto e açúcares, destinado ao consumo direto, podendo ser adicionado de ácidos (BRASIL, 2000; BRASIL, 2003).

### 1.3 Obtenção do suco de abacaxi

O suco de abacaxi é, geralmente, preparado a partir de concentrados importados de diferentes países tropicais ou subtropicais. Na Europa, sucos comerciais são comercializados na forma de concentrados e néctares que devem conter no mínimo 40% de polpa do abacaxi (CAMARA, DIEZ & TORIJA, 1995; BRASIL, 2003). Um diagrama esquemático do processo de obtenção de suco de abacaxi integral está apresentado na Figura 3.



**Figura 3.** Fluxograma de obtenção de suco de abacaxi.

Fonte: FILHO, 2005

Suco de abacaxi fresco é caracterizado por conter alto teor de polpa, ácidos orgânicos e compostos voláteis responsáveis pelo seu aroma, sacarose e potássio. Alguns sucos comerciais apresentam composição similar ao natural, enquanto outros podem apresentar diferenças na sua composição, muitas vezes similares a néctares, indicando possíveis abusos

no processamento e estocagem ou ainda adulteração. A vitamina C, o sódio e ferro são micronutrientes que não podem ser utilizados na caracterização de suco e néctar de abacaxi. No entanto, bons indicadores são: a relação entre as concentrações de ácido cítrico e ácido málico (ácido cítrico / ácido málico igual a 2) e a relação frutose / glicose igual a 1 (a quantidade de frutose somada a de glicose dividida pela concentração em sacarose deve ser igual a 1). Estes parâmetros são somente para sucos de abacaxi (CAMARA, DIEZ & TORIJA, 1995).

O Ministério da Agricultura define suco de abacaxi como sendo “a bebida não fermentada e não diluída, obtida da parte comestível do abacaxi (*Ananas comosus*, L., Merrill.), através de processo tecnológico adequado”. Deve possuir quantidade mínima de sólidos solúveis de 11°Brix, a 20°C e acidez total expressa em ácido cítrico com um mínimo de 0,30 g por 100 g de produto. Além disso, sua cor deve variar de branco ao marfim, com sabor ácido próprio e aroma próprio (BRASIL, 2000).

#### **1.4 Processos convencionais de concentração de suco de frutas**

A vantagem da produção de polpas e sucos é a possibilidade de se comercializar a fruta para qualquer parte do mundo através de processos de preservação como a pasteurização, esterilização, congelamento e concentração. A concentração é um processo que remove parte da água (1/3 ou 2/3 da água) podendo ser efetuada por processos como evaporação (o mais utilizado na indústria de sucos), crio-concentração (remoção da água na forma de gelo), processos com membranas como a osmose inversa (remoção da água na forma líquida), dentre outros (GAVA, 1984; EMBRAPA, 2003).

O processo de evaporação consiste na remoção de parte do solvente de uma solução ou dispersão de solutos essencialmente não voláteis através de vaporização. Este processo normalmente é conduzido pela ebulição do solvente. Um evaporador consiste em um trocador de calor capaz de manter o líquido em seu ponto de ebulição e um dispositivo para separar a fase do vapor da fase líquida. Entretanto, neste processo, ocorrem alterações nas propriedades nutricionais e sensoriais do produto, pois o produto fica exposto a altas temperaturas por um determinado intervalo de tempo. Entre os problemas, pode-se citar o escurecimento (*browning*), desnaturação de proteínas e aparecimento de sabor e aroma de cozido (FENNEMA, 1975; GAVA, 1984).

Técnicas alternativas à evaporação como a crio-concentração, na qual a água é removida como gelo e não como vapor, não são capazes de substituir a concentração evaporativa de produtos com ampla difusão, como por exemplo, sucos cítricos, já que requerem um alto consumo de energia. Além de serem obtidos valores de concentração bem inferiores – teor de sólidos solúveis em torno 40 g/100 g - aos obtidos por evaporação - teor de sólidos solúveis 60–65 g/100 g (CASSANO *et al.*, 2003).

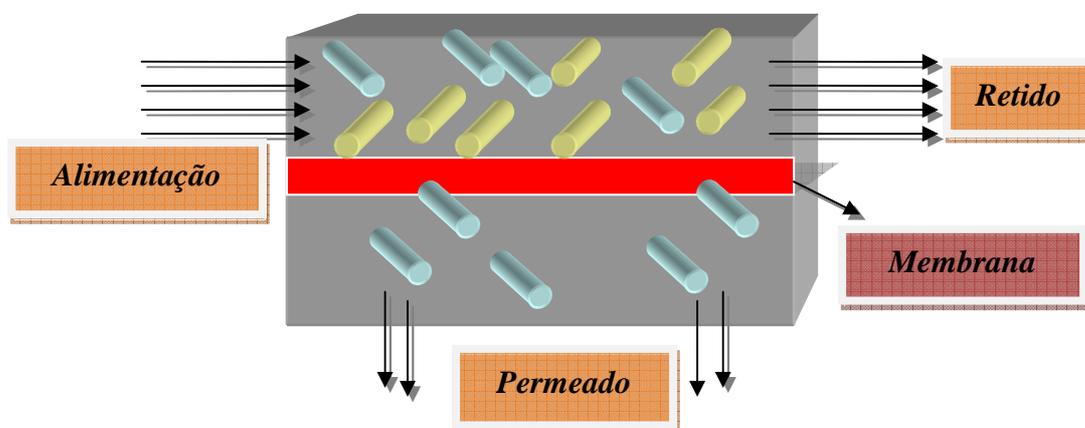
A aquisição de sucos concentrados de frutas nacionais, embalados em garrafas de vidro ou de plástico é popular devido ao armazenamento dos mesmos não requerer refrigeração antes da sua utilização. Esta embalagem possibilita seu transporte e comercialização em todo o território nacional, facilitando o consumo de sucos de frutas por crianças e adultos brasileiros (SOARES *et al.*, 2004).

## 1.5 Processos de separação por membranas

Membranas são barreiras seletivas ao transporte de matéria e energia permitindo o fracionamento de uma mistura em função das diferentes taxas de permeação de seus componentes através da membrana (MULDER, 1991).

Esta barreira pode ser natural ou sintética, homogênea ou heterogênea, e o transporte pode ser ativo ou passivo, sendo que o passivo pode ser conduzido devido a uma diferença de pressão, concentração, temperatura ou potencial elétrico (MULDER, 1991).

No processo de separação com membranas (Figura 4), a corrente de alimentação é separada em duas outras correntes: o permeado e o retido – concentrado, conforme esquematizado na Figura 1 (HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006).



**Figura 4.** Esquema de um processo de separação por membranas.

O princípio envolvido está relacionado à presença de uma membrana separando duas fases e o estabelecimento de condições que resultem na existência de uma força motriz para o transporte de massa e energia através da membrana, do lado da alimentação para o lado do permeado. O tipo de filtração pode ser do tipo clássico ou perpendicular onde a solução permeia perpendicularmente a membrana formando uma única corrente de saída (*dead end filtration*) e com isso os solutos e materiais em suspensão ficam retidos na superfície da membrana. Na filtração tangencial, a alimentação escoia paralelamente à membrana (*Crossflow filtration*) originando duas correntes, permeado e retido, e possibilitando que a fração retida retorne ao tanque de alimentação, sendo recirculada (MULDER, 1991; HABERT, BORGES & NOBREGA, 2006).

Os processos com membranas são realizados em condições amenas, utilizam temperaturas baixas (4°C a 50°C), especialmente quando operados em regime laminar, além de minimizarem alterações nas características do líquido como seu pH ou força iônica (CHERYAN, 1986).

Dentre os processos de membranas, os que mais se destacam são a osmose inversa (OI), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), microfiltração (MF), eletrodialise e pervaporação (Quadro 4). A eficiência de uma membrana é determinada por dois parâmetros: seletividade e permeabilidade. O fluxo é definido como o volume de permeado que atravessa a membrana ao longo de um determinado tempo por unidade de área de membrana (MULDER, 1991).

**Quadro 4.** Processos de separação por membranas e suas aplicações

| <b>Processo</b>                | <b>Força motriz</b>             | <b>Material retido</b>  | <b>Material que permeia</b>                          | <b>Aplicações</b>   |
|--------------------------------|---------------------------------|---|--|---|
| <b>Microfiltração (MF)</b>     | $\Delta P$ (0,5 - 2 atm)        | Material em suspensão, bactérias. Massa molar > 500kDa (0,01 $\mu$ m) | Água e sólidos dissolvidos.                          | Esterilização bacteriana, clarificação de vinhos e cervejas; concentração de células, oxigenação do sangue. |
| <b>Ultrafiltração (UF)</b>     | $\Delta P$ (0,1 - 7 atm)        | Colóides, macromoléculas. Massa molar > 5000 Da                       | Água (solvente), sais solúveis de baixa massa molar. | Fracionamento / concentração de proteínas, recuperação de pigmentos / óleos.                                |
| <b>Nanofiltração (NF)</b>      | $\Delta P$ (5 - 25 atm)         | Moléculas de massa molar. Média 500 < MM < 2000 Da.                   | Água, sais e moléculas de baixa massa molar.         | Purificação de enzimas, biorreatores a membrana.  |
| <b>Osmose inversa (OI)</b>     | $\Delta P$ (15 - 80 atm)        | Todo material solúvel ou em suspensão                                 | Água (solvente).                                     | Dessalinização de águas, concentração de suco de frutas, desmineralização de águas.                         |
| <b>Diálise (D)</b>             | $\Delta C$                      | Moléculas de massa molar > 5000 Da.                                   | Íons e orgânicos de baixa massa molar.               | Hemodiálise, rim artificial, recuperação de NaOH.   |
| <b>Eletrodiálise (ED)</b>      | $\Delta E$                      | Macromoléculas e compostos não iônicos.                               | Íons.  | Concentração de soluções salinas, purificação de águas.   |
| <b>Permeação de gases (PG)</b> | $\Delta P \Rightarrow \Delta C$ | Gás menos permeável.  | Gás mais permeável.                                  | Recuperação de hidrogênio, separação CO <sub>2</sub> / CH <sub>4</sub> , fracionamento do ar.               |
| <b>Pervaporação (PV)</b>       | Pressão de vapor                | Líquido menos permeável.  | Líquido mais permeável.                              | Desidratação de álcoois, eliminação de VOC da água.   |

Fonte: HABERT , BORGES E NOBREGA, 2006

Em geral, os processos com membranas ocorrem à temperatura ambiente sem que haja

mudança de fase ou utilização de calor. Desta forma, permitem a manutenção das propriedades sensoriais e nutricionais dos produtos, além de representar uma economia nos custos energéticos envolvidos no processo. A introdução dos processos com membranas no processamento de suco de frutas tropicais é bastante atrativa devido às características específicas destes produtos em relação a aroma e sabor, além de importantes fatores nutricionais.

Entretanto, estes processos apresentam algumas limitações como o fenômeno de polarização da concentração, que ocorre quando há retenção dos solutos na superfície da membrana dificultando a permeação do solvente e resultando na diminuição do fluxo permeado. Este processo ocorre nos primeiros minutos de processo e é reversível. Como consequência do declínio do fluxo permeado, pode ainda ser mencionada a incrustação (*fouling*), que é resultante do entupimento dos poros da membrana e pode ser um fenômeno irreversível dependendo da situação. Embora os processos de separação por membranas sejam técnicas relativamente novas, já estão atualmente consolidados em vários setores produtivos, por sua capacidade de operar à temperatura ambiente e com baixo consumo energético (TODISCO, TALLARICO, & DRIOLI, 1998; WU, ZALL, & TZENG, 1990).

Especificamente, no processamento de alimentos, a microfiltração (MF), a ultrafiltração (UF), a nanofiltração (NF) e a osmose inversa (OI) são os processos mais utilizados (MULDER, 1991). A pervaporação vem sendo estudada para a recuperação de aromas e mais recentemente, um novo processo, a evaporação osmótica (EO) vem sendo estudada para concentração de sucos (JARIEL *et al.*, 1996).

Embora a tecnologia de membranas já seja industrialmente utilizada, muitos estudos disponíveis na literatura apresentam resultados obtidos em escala laboratorial e alguns são relativos a processos desenvolvidos em equipamentos em escala piloto, o que é mais versátil para fins industriais. Testes com equipamentos de pequena escala são o primeiro passo no desenvolvimento de procedimentos de larga escala, no entanto, observações realizadas com esses equipamentos podem gerar problemas durante o escalonamento (GIRAD & FUKUMOTO, 2000).

### **1.5.1 Tipos e características de membranas**

A membrana a ser utilizada na separação de compostos deve ser selecionada de acordo com suas propriedades hidrofóbicas e hidrofílicas, resistência mecânica, química e térmica, capacidade de esterilização, estabilidade dimensional e custo. Exemplos de materiais de membranas são: acetato de celulose, nitrocelulose, poliamidas, poli(cloreto de vinila) e acrilonitrila, polisulfonas, etc (MULDER, 1991).

As membranas podem apresentar diferentes morfologias, dependendo da sua aplicação, e podem ser classificadas em duas categorias: densas e porosas e ambas podem se apresentar como isotrópicas, quando apresentam as mesmas características morfológicas ao longo da sua espessura ou anisotrópicas, quando não apresentam as mesmas características morfológicas ao longo de sua espessura. Caracterizam-se por uma região superior muito fina (aprox. 1 micra), mais fechada (com poros ou não), chamada de pele, suportada em uma estrutura porosa. No caso das membranas anisotrópicas, pode-se classificá-las em integral, quando ambas as regiões são constituídas por um único material, e composta, quando diferentes materiais são empregados no preparo de cada região (HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006).

De acordo com Mulder (1991) as membranas podem ser de três tipos:

- Porosa – Os poros são mais largos do que o tamanho médio das moléculas a serem permeadas; o solvente e as partículas de baixa massa molar passam através da membrana enquanto solutos com tamanho maior do que os poros da membrana são retidos.
- Densa – Não há poros na membrana e o transporte ocorre através de sorção e difusão ativa.
- Compostas com pele densa – São membranas heterogêneas, consistindo em uma fina camada de membrana densa (pele) posicionada em cima de um suporte poroso.

Industrialmente, as membranas são utilizadas em módulos permitindo o escoamento adequado e uma alta relação de área de membrana por volume de equipamento. As configurações dos módulos podem ser:

- Tubular – com feixes paralelos de tubos, com paredes rígidas, porosas ou perfuradas, revestidas internamente pela membrana;
- Quadro e placas – placas delgadas recobertas em ambas as faces pela membrana e seladas nas bordas para impedir vazamentos;
- Espiral – envoltório de membranas em torno de um espaçador, toda a membrana é enrolada em torno do tubo;
- Fibras-ocas – são extremamente finas e de diâmetros reduzidos, possuem melhor produtividade (maior área de membrana por unidade de volume).

Dos módulos apresentados o espiral e a fibra-oca são os mais utilizados (HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006).

### **1.5.2 Osmose Inversa**

Os processos de concentração que evitam a utilização de altas temperaturas são interessantes na preservação das características nutricionais e sensoriais de sucos de frutas.

A osmose é um processo de permeação onde o solvente passa através de uma membrana semipermeável, da região de menor concentração para a região de maior concentração de soluto. Com a aplicação de uma pressão maior do que a pressão osmótica no lado da membrana onde o soluto está em maior concentração, o fluxo normal da água pode ser invertido através da membrana, caracterizando assim a osmose inversa (MULDER, 1991).

Em soluções diluídas, a pressão osmótica é diretamente proporcional à temperatura e à concentração do soluto, e inversamente proporcional à massa molar (MERLO, PEDERSEN & ROSE, 1985). Em soluções alimentares complexas, a pressão osmótica é determinada comumente pela medida da depressão do ponto de congelamento (MERLO, PEDERSEN & ROSE, 1985).

A osmose inversa é utilizada quando solutos de baixa massa molar, tais como sais inorgânicos ou pequenas moléculas orgânicas, têm que ser separadas do solvente. Neste processo, são necessárias membranas densas e com boa resistência hidrodinâmica. Em função da pressão osmótica do produto a ser concentrado, faz-se necessária a aplicação de um alto gradiente de pressão como força motriz, que pode variar de 20 a 100 bar, para que o solvente passe através da membrana (MULDER, 1991).

A osmose inversa permite a separação de água de sucos de frutas, sendo que o aumento na pressão osmótica limita o teor de concentração do suco. Com isso, a osmose inversa tem sido considerada como uma técnica de pré-concentração, permitindo valores de

concentração em torno de 30°Brix com uma pressão osmótica correspondente em torno de 50 bar (CASSANO *et al.*, 2003).

O potencial de desenvolvimento da osmose inversa como uma técnica de concentração, removendo a água de sucos de frutas, tem sido de interesse da indústria por uns 30 anos. As vantagens desse processo perante a evaporação tradicional são a redução do dano térmico ao produto, aumento da retenção de aroma, redução do consumo de energia e menor custo com equipamentos. A principal desvantagem é sua incapacidade de atingir a concentração de produtos padrão produzidos por evaporação por causa da limitação da alta pressão osmótica. Estudos têm mostrado que a concentração final de sucos de frutas é limitada pelas membranas e equipamentos em torno de 25 – 30 Brix, com a maior eficiência de fluxo e recuperação do soluto (GADEA, 1987; MEDINA & GARCIA, 1988; PAULSON, WILSON, & SPATZ, 1985; PEPPER, 1990).

Compostos de aroma e outros constituintes como antocianinas, vitaminas, açúcares, ácidos, cálcio, potássio, magnésio e fósforo são retidos por este processo. A limitação das altas pressões osmóticas pode ser reversível pela concentração contínua por destilação por membrana ou destilação osmótica (COUREL *et al.*, 2000; HOGAN *et al.*, 1998; KUNZ, BENABILES & BEN-AIM, 1996).

Na osmose inversa, a pressão aplicada à membrana deve ser maior que a pressão osmótica para que haja fluxo de solvente. Dessa forma, a osmose inversa requer altas pressões e conseqüentemente fluxos mais baixos comparados com outros processos de filtração. Os mecanismos envolvidos no transporte em membranas de osmose inversa ainda não foram totalmente esclarecidos, no entanto vários modelos foram propostos para explicar a seletividade das membranas para solutos em meios aquosos, envolvendo o mecanismo do fluxo preferencial pela sorção-capilar (MATSUURA, BAXTER & SOURIRAJAN, 1973).

A característica polar dos solutos do suco pode ser descrita pela medida do poder redutor do elétron (característica próton doadora) de um grupo substituinte na molécula polar. Esse conceito é útil para interpretar a rejeição do soluto (ou permeação) baseada na composição da solução no leito interfacial próximo a superfície da membrana (CUPERUS & NIJHUIS, 1993).

Com membranas de acetato de celulose, um soluto com menor capacidade redutora terá maior rejeição. Açúcares possuem uma capacidade redutora inferior aos ácidos e, portanto, são retidos em maior quantidade no concentrado (CHUA *et al.*, 1987). A rejeição para membranas de osmose inversa é comumente avaliada com soluções de NaCl, e pode ser de 99,7% ou até mais, para membranas densas (CUPERUS & NIJHUIS, 1993)

O fluxo permeado do solvente, J, pode ser calculado a partir da seguinte equação fenomenológica (CHERYAN, 1986):

$$J = \frac{A}{\eta} (\Delta P - \Delta \pi)$$

onde:

A é coeficiente de permeabilidade da membrana,

$\eta$  é a viscosidade da alimentação,

$\Delta P$  é a pressão aplicada à membrana,

$\Delta\pi$  é a diferença da pressão osmótica da alimentação e do permeado ( $\pi_{\text{alimentação}} - \pi_{\text{permeado}}$ )

O coeficiente de permeabilidade da membrana é proporcional à espessura da membrana e a permeabilidade (P) pode ser expressa pela relação:

$$P = \frac{A}{\eta}$$

A permeabilidade é um parâmetro no qual estão embutidas as características da membrana e do fluido que permeia através dela. Pode também ser escrita como:

$$P = \frac{1}{(R_m + R_f)}$$

sendo,  $R_m$  a resistência intrínseca da membrana, quando utilizada com água pura. Outros termos de resistência podem ser adicionados tais como a resistência devida à polarização de concentração e ao “fouling” ( $R_f$ ), similar ao conceito de resistências em série, amplamente utilizado em transferência de calor ou em eletricidade.

Para uma alta retenção de membrana, a pressão osmótica do permeado,  $\pi_{\text{permeado}}$ , tem valores muito próximos de zero. Com a remoção do solvente,  $\Delta\pi$  da alimentação aumenta e o fluxo diminui.

A limitação da pressão aplicada à membrana no processo de osmose inversa faz com que não se obtenha um alto teor de concentração visto que à medida que o produto é concentrado há um aumento de sua pressão osmótica e esta entra em equilíbrio com a pressão da bomba, fazendo com que não haja mais concentração (MULDER, 1991; HABERT, BORGES, NOBREGA, 2006).

Durante a osmose inversa, o fluxo declina devido à polarização de concentração e ao “fouling”, mudanças nas propriedades da alimentação e nas propriedades de membrana, como a compactação e modificações da sua superfície (CHERYAN, 1986).

Polarização de concentração é resultado do acúmulo de solutos rejeitados na superfície da membrana, sendo responsável pela queda de fluxo nos instantes iniciais da permeação. Os solutos se difundem para a superfície por transporte convectivo. Um gradiente de concentração desses solutos é formado com a passagem do solvente pela membrana. Um

equilíbrio ocorre quando alguns solutos se difundem da camada próxima a membrana para o seio da alimentação. A polarização de concentração é um fenômeno dinâmico reversível (MERLO, PEDERSEN & ROSE, 1985).

Em processos de osmose inversa, a mudança da pressão osmótica da alimentação e a resistência da membrana são os principais fatores causadores do declínio do fluxo. O fluxo pode ser regulado até um determinado ponto pela mudança dos parâmetros de operação (pressão aplicada à membrana, concentração, temperatura, velocidade de circulação da alimentação). Aumentando a pressão aplicada à membrana pode ocorrer um incremento no fluxo. Por causa das altas pressões utilizadas na osmose inversa, podem ocorrer os fenômenos de compactação nas membranas. Aumentando a velocidade de circulação, pode-se aumentar também o fluxo, porque o incremento da ação de arraste pode minimizar o “*fouling*”. A concentração a ser alcançada pode ser limitada pela pressão osmótica, solubilidade do soluto, polarização de concentração, “*fouling*” e limites do sistema de bombeamento. A temperatura é também um fator importante que afeta várias propriedades como a viscosidade, difusividade e densidade (MERLO, PEDERSEN & ROSE, 1985).

Os processos de osmose inversa têm sido amplamente utilizados para a separação e concentração de solutos em vários campos, tais como a indústria química e biomédica e no processamento de alimentos e bebidas, bem como para o tratamento de água (HAJEEH & CHAUDHURI, 2000; SONG, 2000).

A remoção de água no processo de osmose inversa é baseado na afinidade dos componentes presentes nos sucos de frutas e na constituição da membrana (GIRAD & FUKUMOTO, 2000)

O sucesso da osmose inversa na concentração de sucos de frutas depende da retenção adequada de componentes do aroma e sabor, que podem permear através da membrana (ÁLVARES, 1998). Merson e Morgan (1968) concluíram que o principal fator que interfere na qualidade final do produto é a retenção dos componentes do aroma, pois estes afetam as propriedades sensoriais, como o odor e sabor. A retenção destes componentes durante a osmose inversa é função do tipo de membranas e das condições de operações.

### **1.5.3 Aplicações dos processos de separação por membranas na concentração de sucos**

As indústrias de sucos desenvolveram um sistema complexo para a recuperação de aromas perdidos durante a concentração térmica. Embora seja um processo cauteloso que utiliza técnicas para produzir um suco concentrado de qualidade aceitável pelos consumidores, ainda assim trata-se de um produto facilmente distinguível do suco fresco. Muitos esforços têm sido dedicados para melhorar os métodos de concentração de sucos de frutas, como o congelamento e os processos com membranas (ultrafiltração e osmose inversa) (CHEN, SHAW, & PARISH, 1993; KOSEOGLU, LAWHON & LUSAS, 1990).

Com o conhecimento da preferência por parte dos consumidores por produtos de sabor, aroma, aparência e sensação de sucos frescos, recentemente extraídos, cientistas e fabricantes têm tentado desenvolver novas técnicas para a manutenção de tais características nos sucos concentrados e nos reconstituídos (CHEN, SHAW, & PARISH, 1993; KOSEOGLU, LAWHON & LUSAS, 1990).

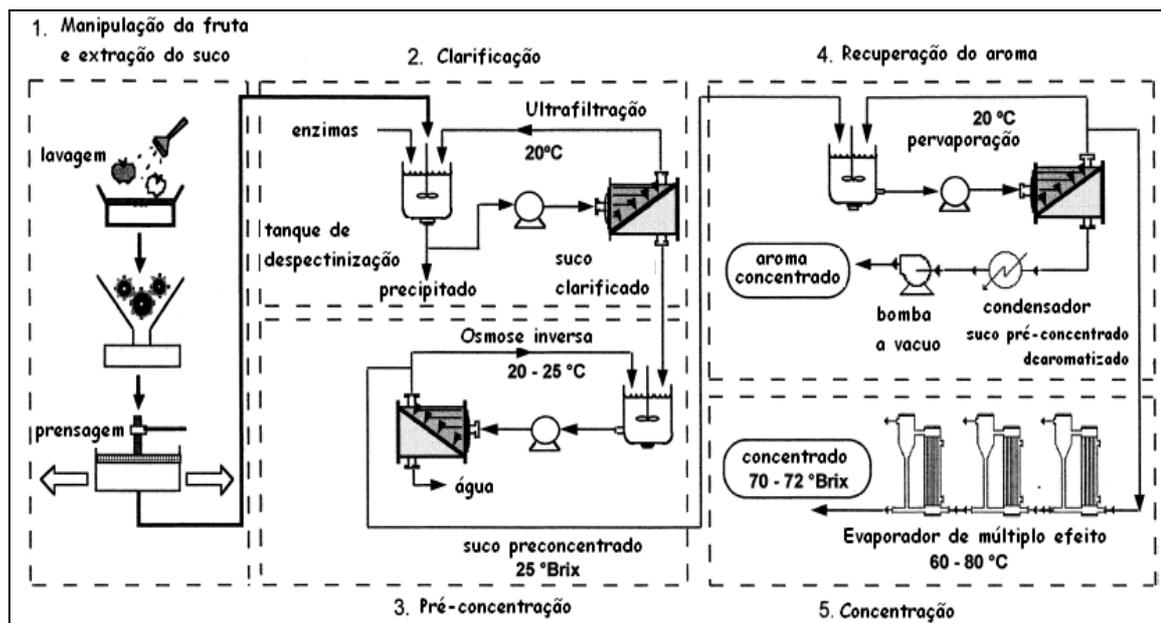
Diversos trabalhos já foram realizados sobre a concentração de sucos de frutas por membranas, incluindo maçã, pêra, *grapefruit*, kiwi, abacaxi, maracujá e tomate (BOWDEN &

ISAACS, 1989; BRADDOCK, NIKDEL, & NAGEL, 1988; MEDINA & GARCIA, 1988; PALMIERI *et al.*, 1990; PAULSON *et al.*, 1985; SHEU & WILEY, 1983). Estes trabalhos focaram principalmente na avaliação de diferentes membranas e no efeito das condições de operação no fluxo permeado e nos compostos retidos do suco.

Uma equipe de pesquisadores de diversos países da Europa propôs uma abordagem unificada de alguns processos de separação por membranas para a concentração de suco de maçã. O método proposto incluiu a ultrafiltração, a osmose inversa e a pervaporação, conforme apresentado na Figura 5 (ÁLVAREZ *et al.*, 2000).

Estes autores relatam que os métodos tradicionais de clarificação de suco de maçã são trabalhosos, longos e são operados em modo descontínuo. Eles acrescentam que o uso de aditivos ao suco pode ocasionar um sabor residual. Além disso, os sólidos obtidos depois da filtração, que contêm enzimas, não podem ser reutilizados e causam problemas de poluição. A evaporação também ocasiona a degradação dos compostos de aroma do suco, perdas de aroma importantes e alto consumo de energia. Desta forma, o processo proposto envolve as seguintes operações para contornar os problemas apresentados: clarificação do suco de maçã utilizando um reator enzimático com membrana; uma etapa de pré-concentração do suco por osmose inversa; a recuperação e concentração dos compostos de aroma por pervaporação e finalmente a concentração do produto até cerca de 72<sup>0</sup>Brix por evaporação convencional. Os objetivos de cada etapa foram:

- Reator enzimático com membrana – obter a polpa e clarificar em uma única etapa, aumentar a produção, prolongar a vida útil da enzima, reduzir custos de processo, reduzir produção de resíduos, evitar o uso de aditivos, reduzir o tempo de operação;
- Osmose inversa – pré-concentrar o suco de maçã até 25<sup>0</sup>Brix, minimizar danos térmicos, reduzir a perda de aroma devido à evaporação e o consumo de energia;
- Pervaporação – aumentar a qualidade sensorial do suco concentrado de maçã, minimizar a perda de aroma pela evaporação, eliminar a degradação térmica de produtos de aroma;
- Evaporação – alcançar a concentração final de 72<sup>0</sup>Brix.



**Figura 5.** Processo de membrana integrado para a produção de suco de maçã concentrado e aroma de maçã.

Fonte: ÁLVAREZ *et al.*, 2000.

A associação da osmose inversa com ultrafiltração na concentração de suco de laranja foi estudada em escala semi-piloto, visando avaliar a utilização dessa tecnologia para substituição parcial da evaporação. A pressão aplicada à membrana, ideal para o processo, foi de 60 bar, uma vez que com ela foi possível reter maior quantidade de sólidos solúveis e atingir o maior fator de concentração. A utilização do processo de ultrafiltração foi eficiente na retenção de microrganismos e enzimas pectinolíticas e na produção de um permeado clarificado, facilitando posteriormente o processo de osmose inversa. O retido pasteurizado da ultrafiltração foi adicionado ao retido da osmose inversa e o produto obtido foi caracterizado química, física e sensorialmente. As avaliações mostraram que o suco obtido pela mistura das duas correntes retidas apresentou valores de defeito e de cor superiores ao do suco original (SILVA, JARDINE, MATTA, 1998).

CASSANO *et al.* (2003) avaliaram a concentração de suco de cenoura e laranja pelo processo de osmose inversa, com um pré-tratamento por ultrafiltração. O módulo utilizado foi de configuração espiral, com membranas compostas de poliamida e área de permeação nominal de 1,12 m<sup>2</sup>, pressão variando de 1 a 69 bar, temperatura de operação variando de 0 a 45°C e pH de operação entre 3 e 10. Para o suco de cenoura, o processo foi conduzido a 25°C e pressão de 25 bar. O fluxo permeado inicial foi de 12 L/hm<sup>2</sup>, diminuindo para aproximadamente 4 L/hm<sup>2</sup>, correspondendo a um fator de redução volumétrica de 2,2. Partindo de um suco clarificado com concentração de 6,3°Brix, obteve-se um suco concentrado com teor de sólidos solúveis de 13,6°brix. Para o suco clarificado de laranja, a concentração inicial do suco foi de 12,9°Brix e obteve-se um suco pré-concentrado a 23° Brix, a 20°C e 35 bar. O fluxo permeado inicial foi de 10 L/hm<sup>2</sup>, sendo reduzido para 2 L/hm<sup>2</sup>, correspondendo a um fator de redução volumétrica de 1,8.

CASSANO *et al.* (2003) verificaram que a pressão osmótica de suco de laranja aumenta rapidamente com o aumento da concentração de açúcares (100 bar e 200 bar para concentrações de 42°Brix e 60°Brix, respectivamente). A concentração também resulta no aumento na viscosidade. Estes fatores influenciam o processo de concentração por osmose

inversa e por isso, o processo não é conveniente do ponto de vista econômico, devendo, por estas limitações, ser considerado uma técnica vantajosa como etapa de pré-concentração. Este comportamento de aumento da pressão osmótica da viscosidade é semelhante a sucos produzidos a partir de outras frutas, tais como o abacaxi. SÁ *et al.* (2003) concentraram suco de abacaxi clarificado por tratamento enzimático e microfiltração tangencial, em um sistema de osmose inversa com membranas compostas, em um módulo do tipo quadro e placas. O processo foi conduzido a 25°C e 20 bar, 40 bar e 60 bar. Foram obtidos fatores de concentração iguais a 2,1; 3,6 e 4,5, e teores de sólidos solúveis de 16,2° Brix; 26,3° Brix e 30,7° Brix, respectivamente. Os experimentos a 60 bar apresentaram fluxo inicial médio de 52 L/hm<sup>2</sup> e tempo de processo 2,4 vezes menor do que o processo realizado a 20 bar (fluxo inicial médio de 17 L/hm<sup>2</sup>) e 1,5 vezes menor do que os processos realizados a 40 bar (fluxo inicial médio 36 L/hm<sup>2</sup>).

CIANCI *et al.* (2005) estudaram a concentração de suco de caju por osmose inversa, submetendo o suco a um tratamento enzimático e posterior microfiltração. O experimento de osmose inversa foi realizado em uma unidade de osmose inversa com configuração do tipo quadro e placas, utilizando membranas planas compostas, a 60 bar e 35°C. O fluxo médio permeado foi igual a 11 L/hm<sup>2</sup>. Partindo-se de um suco clarificado com 12° Brix foi obtido um suco com 28,6° Brix, correspondendo a um aumento dos sólidos solúveis de 2,4 vezes.

JESUS *et al.* (2007), utilizando um sistema quadro e placas com membranas de poliamida concentraram suco de laranja obtendo uma alta retenção de açúcar e vitamina C. O processo foi conduzido em batelada a 60 bar, apresentando um fator de concentração volumétrico de 5,8 e com suco concentrado a um teor de sólidos solúveis de 30° Brix. O suco de laranja concentrado por osmose inversa teve suas características de aroma mais intensamente preservadas quando comparado com o suco concentrado por evaporação térmica.

Embora a aplicação atual de membranas na concentração de suco de frutas possa ser mais custosa que a evaporação, com a expansão do mercado mundial de sucos de frutas e a demanda por produtos de qualidade, aplicações comerciais dos processos com membranas, principalmente em sistema integrado, se expandirão em futuro próximo. Entretanto, estudos estão sendo direcionados para obtenção de membranas com alta seletividade e alta permeabilidade, e ainda, “robustas” e estáveis para aplicações longas. Melhoramentos da engenharia de processo, incluindo modelos de módulos e otimização das condições de processo podem antecipar o uso desta tecnologia, aumentando o potencial de aplicação na indústria de suco de frutas no futuro (JIAO, CASSANO & DRIOLI, 2004).

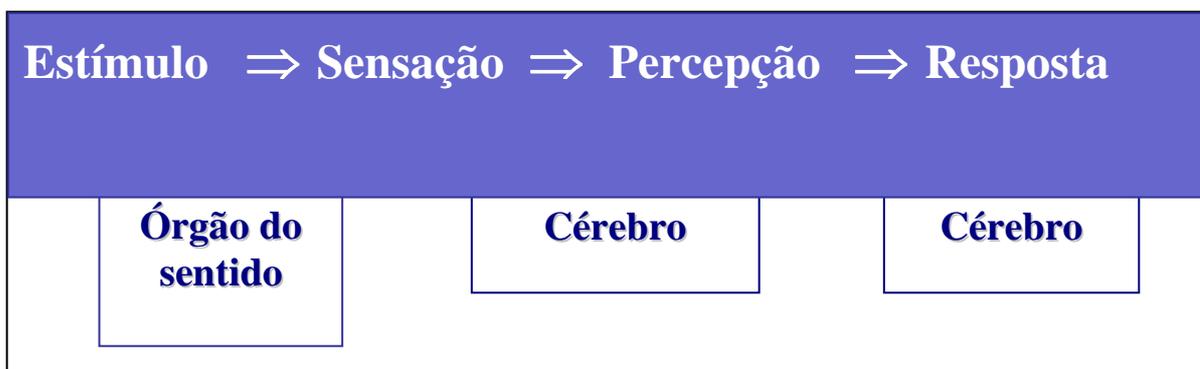
## **1.6 Avaliação Sensorial**

A análise sensorial pode ser definida como sendo uma ferramenta científica usada para medir, analisar e interpretar as reações às características dos alimentos e materiais como são percebidos pelos órgãos da visão, olfação, tato e audição (AMERINE, PANGBORNE & ROESSLER, 1965).

A análise sensorial é considerada um instrumento muito importante na indústria de alimentos, pois contribui para a determinação da qualidade de um produto novo. Várias são as aplicações dessa disciplina: seleção da matéria-prima; estudo de efeitos de processos industriais; avaliação da qualidade das análises físicas e químicas; estudo da percepção humana face aos atributos dos alimentos e determinação da reação do consumidor (DUTCOSKY, 1996).

A avaliação sensorial baseia-se em técnicas que usam, fundamentalmente, as percepções fisiológicas e psicológicas. Os cinco sentidos podem ser utilizados na avaliação. O uso do olfato, paladar, visão, audição ou tato determina o atributo que se deseja avaliar: odor, sabor, cor, ruído ou consistência (DUTCOSKY, 1996).

Cada um dos atributos sensoriais desenvolvidos é percebido através de mecanismos fisiológicos diferenciados, mas que podem ser resumidos a uma mesma cadeia de sentidos. Nessa cadeia, o alimento gera um estímulo o qual é percebido pelo órgão do sentido; a sensibilização do órgão provoca uma sensação que é mediada até o cérebro; o cérebro percebe que foi estimulado e traduz essa percepção em uma resposta verbal, o atributo sensorial (CHARLES, 1982). A representação esquemática do desenvolvimento do atributo sensorial está apresentada na Figura 6.



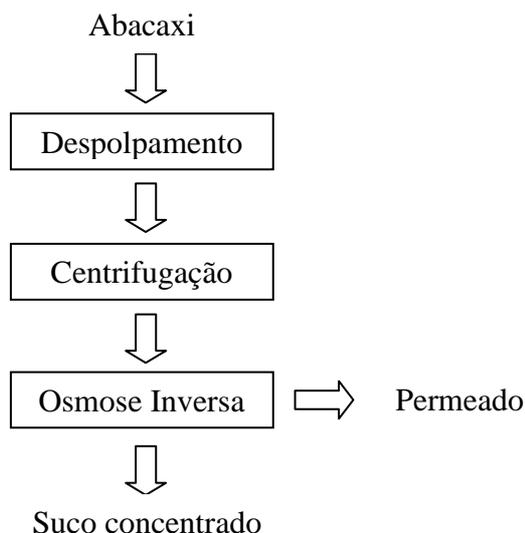
**Figura 6.** Percepção dos estímulos sensoriais. **Fonte:** BARBOSA, 2007

Na língua percebemos os quatro gostos fundamentais – salgado, doce, ácido e amargo. As papilas, órgãos responsáveis pela percepção do gosto, não estão distribuídas uniformemente sobre a língua. Os gostos básicos interagem e podem mascarar ou reforçar outro. O sentido do tato fornece informação sobre a textura, forma ou figura, peso, temperatura e consistência de um produto alimentício em dois níveis: na boca e na mão. As sensações despertadas no manuseio do alimento complementam a informação que nos chega pelo olho, e podem, às vezes, causar surpresa. Os receptores do tato da boca, localizados nos lábios, bochechas, gengivas, língua e palato, são extremamente sensíveis (MEILGAARD, CIVILLE & CARR, 1991).

O “*flavor*” é a sensação global da percepção do aroma, do gosto e do tato quando o alimento ou bebida se encontra na boca. O conjunto dessas percepções torna o alimento singular a outro. Incluem-se ainda, nessa sensação, a percepção de temperatura - calor/frio, de textura - sólido/mole/crocante, o travar da língua – cica, a ardência - da pimenta, entre outros (MEILGAARD, CIVILLE & CARR, 1991).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os experimentos foram realizados na planta-piloto de operações unitárias da Embrapa Agroindústria de Alimentos. O diagrama esquemático apresentado na Figura 7 resume as etapas envolvidas no processamento do suco de abacaxi, desde o despulpamento até a sua concentração.



**Figura 7.** Diagrama do procedimento experimental para obtenção de suco de abacaxi concentrado por osmose inversa.

### 2.1 Matéria-Prima

Foram utilizados 850 kg de abacaxi da cultivar *Smooth Cayenne*, adquiridos no CEAGESP, mercado central situado no município de São Paulo, de frutos provenientes do estado da Paraíba. As frutas apresentavam estágio de maturação de verde para maduro.

### 2.2 Despulpamento

Antes do despulpamento, as frutas que se apresentavam em estágio de decomposição foram descartadas. Após a retirada da coroa, as frutas sadias selecionadas passaram por um processo de lavagem e higienização por imersão numa solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm por 15 min (Figura 8). As frutas foram então descascadas manualmente com auxílio de facas de inox.

O despulpamento foi realizado em uma despulpadeira da marca Bonina 0,25 df com peneira de 0,6 mm previamente sanificada com solução de hipoclorito de sódio a 0,01%.

O suco de abacaxi integral foi colocado em bombonas plásticas de 5 litros, e armazenado em câmara de congelamento a  $-18^{\circ}\text{C}$ , sendo retiradas à medida que foram sendo utilizadas.



**Figura 8.** Higienização do abacaxi antes do processo.

### 2.3 Centrifugação

Como um pré-tratamento à osmose inversa, foi introduzida uma etapa de centrifugação do suco integral, imediatamente antes de cada processo de concentração. Esta etapa se fez necessária para o ajuste do teor de sólidos em suspensão da matéria prima.

Foi utilizada uma centrífuga de cesto da marca *International Equipment Company*, com velocidade de 4.000 rpm, equivalente a uma força de 2.529 G (Figura 9). Para que as partículas em suspensão ficassem retidas, foi utilizado um cesto de malha com abertura de 150  $\mu\text{m}$ .

Antes e após o processo de centrifugação, o equipamento era desmontado e suas peças lavadas com detergente e água. Após esta lavagem, as peças eram sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio a 0,01%.



**Figura 9.** Centrifugação do suco de abacaxi.

## 2.4 Concentração por osmose inversa

O processo de concentração de suco de abacaxi foi avaliado em sistemas com duas configurações diferentes: espiral (WGM) e quadro e placas (DSS, Dinamarca). Nos dois módulos foram utilizadas membranas compostas com suporte poroso de Poli(sulfona) e a camada seletiva constituída de Poli(amida), com rejeição nominal de 98% a uma solução de 0,25% de NaCl, em processo realizado a 25°C e 42 Bar.

### 2.4.1 Permeabilidade hidráulica

A permeabilidade hidráulica das membranas foi determinada a partir da medida do fluxo permeado de água sob diferentes pressões aplicadas à membrana e diferentes temperaturas. O teste de permeabilidade foi realizado nos dois módulos.

O fluxo permeado (J) foi determinado de acordo com a equação abaixo, para cada valor de pressão aplicada à membrana e sempre em triplicata:

$$J = \frac{V}{A * t}$$

onde:

V= volume permeado num determinado tempo

t= tempo de permeação

A= área de permeação da membrana.

Após o início de cada processo era realizado um teste de permeabilidade hidráulica para verificação da integridade e limpeza das membranas, isto é, avaliar se estas estavam isentas de partículas e danos.

### 2.4.2 Permeabilidade ao suco

Semelhante ao procedimento para determinação da permeabilidade hidráulica, também foram realizados testes para determinação da permeabilidade do suco de abacaxi previamente centrifugado, nos dois módulos. Este teste teve como objetivo determinar o valor da pressão equivalente ao fluxo limite e a influência da temperatura sobre este parâmetro.

### 2.4.3 Limpeza do equipamento

O procedimento de limpeza das membranas foi realizado sempre antes e após os processamentos e consistia das seguintes etapas:

1. Enxágüe com água filtrada em excesso para a remoção do suco presente no volume morto do sistema e de partículas sobre a superfície da membrana;
2. Lavagem com solução de hidróxido de sódio 0,5%, pH 10 a 45°C. Esta solução era deixada circulando no sistema por aproximadamente 30 minutos;

### 3. Novo enxágüe com água filtrada.

Após cada processamento, o módulo quadro e placas era desmontado e as membranas deixadas em água destilada e as placas de separação dos pares de membranas colocadas em solução de cloro a 100 ppm, sendo devidamente enxaguadas antes de serem recolocadas no sistema.

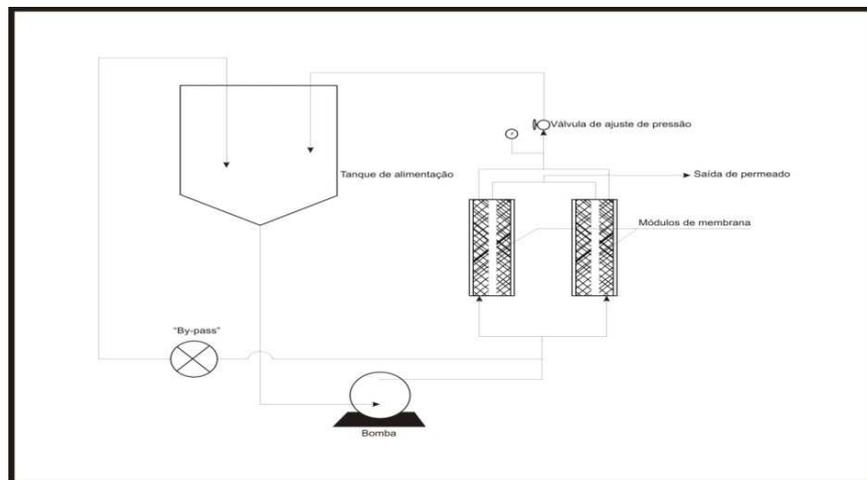
#### 2.4.4 Módulo de configuração espiral – testes preliminares

O sistema espiral era constituído por dois módulos com área total de permeação de 1,4m<sup>2</sup> (Figura 10). O sistema continha um tanque de alimentação, manômetros e termômetros para monitoramento da temperatura e pressão e um trocador de calor para controle da temperatura de processo, conforme apresentado no diagrama da Figura 11.

Neste sistema, foram realizados dois testes preliminares de concentração sob as mesmas condições (40 bar e 25°C), em regime de batelada alimentada, com adição de 1 litro de suco para cada litro de permeado recolhido, com um total de 26 litros de suco de abacaxi por operação. O fluxo permeado era avaliado a cada 15 minutos de processo, sempre em triplicata. O processo foi realizado em duplicata e o resultado expresso pela média dos dois processos.



**Figura 10.** Módulo de osmose inversa de configuração espiral.



**Figura 11.** Diagrama representativo do sistema com módulo de configuração espiral.

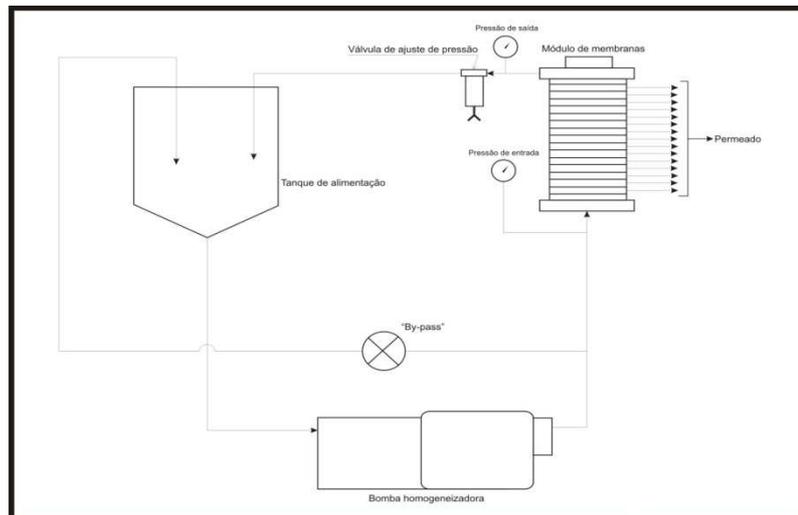
### 2.4.5 Módulo de configuração quadro e placas

Foram também realizados testes em um módulo de configuração do tipo quadros e placas, modelo LAB UNIT M20 – DSS, Dinamarca, com área de permeação de 0,65 m<sup>2</sup>, (Figura 12).

Este sistema é constituído por um tanque de alimentação, uma bomba de circulação que permite uma vazão de circulação de 650 L/h, manômetros e válvulas, para controle e monitoramento da pressão e uma linha de *by pass* para controle da vazão de circulação, conforme diagrama apresentado na Figura 13.



**Figura 12.** Módulo de osmose inversa de configuração quadro e placas.



**Figura 13.** Diagrama representativo do sistema com módulo de configuração quadro e placas.

#### 2.4.5.1 Planejamento experimental

Esta etapa foi realizada somente no sistema quadro e placas e teve por objetivo definir a melhor condição de temperatura e pressão para o processo de concentração do suco de abacaxi.

Foi realizado um planejamento experimental fatorial completo 2<sup>2</sup>, com triplicata no ponto central para estimar o desvio padrão dos experimentos, totalizando sete ensaios, com o objetivo de avaliar a influência da pressão e da temperatura, variáveis independentes, na qualidade do produto final, variáveis dependentes, conforme apresentado na Tabela 1.

Os processos foram conduzidos em regime estacionário, onde as correntes de permeado e retido retornavam ao tanque de alimentação sem que houvesse a concentração do suco, por um período de duas horas. As pressões utilizadas foram de 20 bar, 40 bar e 60 bar e as temperaturas de 20°C, 30°C e 40°C.

**Tabela 1.** Planejamento experimental dos testes de osmose inversa em regime estacionário.

| Ensaio | Pressão (bar) | Temperatura (°C) |
|--------|---------------|------------------|
| 1      | 20 (-)        | 20 (-)           |
| 2      | 20 (-)        | 40 (+)           |
| 3      | 60 (-)        | 20 (-)           |
| 4      | 60 (-)        | 40 (+)           |
| 5      | 40 (0)        | 30 (0)           |
| 6      | 40 (0)        | 30 (0)           |
| 7      | 40 (0)        | 30 (0)           |

#### 2.4.5.2 Processo de concentração

O processo de concentração no sistema quadro e placas foi realizado em regime de batelada alimentada, isto é, com adição de 1 litro de suco a cada 1 litro de permeado recolhido na condição definida a partir do planejamento experimental prévio. O fluxo permeado era avaliado a cada 15 minutos de processo, sempre em triplicata, bem como o teor de sólidos solúveis, com auxílio de um refratômetro de campo com escala entre 0 e 35°Brix. O processo foi realizado em triplicata e o resultado expresso pela média dos três processos.

#### 2.5 Métodos Analíticos

O suco integral, o suco centrifugado, o suco processado por duas horas em regime estacionário e o suco concentrado foram avaliados por análises físicas e químicas.

O pH foi realizado por leitura direta em potenciômetro Metronal E – 120 utilizando para calibração soluções tampão pH 4,0 e 7,0 da MERCK.

A acidez total titulável foi determinada por titulação, utilizando-se solução de hidróxido de sódio 0,1 N e como indicador, fenolftaleína. O resultado foi expresso em equivalente de ácido cítrico (AOAC, 2000 – 942.15).

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado por meio da leitura direta em refratômetro *Bellingham + Stanley Limited Refractometer* em escala °Brix, com correção para 20°C (AOAC, 2000 – 932.14).

Para a determinação do teor de sólidos totais a amostra foi seca em estufa a vácuo a 70°C até peso constante (AOAC, 2000 – 934.01).

O teor de compostos fenólicos totais foi realizado em espectrofotômetro BIOSPECTRO SP 220, com leitura a 760 nm. Inicialmente, era realizada uma extração utilizando-se uma mistura acetona-água a 70%. Para a reação colorimétrica utilizou-se o reagente de Folin-Ciocalteu e carbonato de sódio a 7,5%. O resultado foi expresso em equivalente de ácido gálico, como descrito por SINGLETON & ROSSI, 1965.

A análise instrumental de cor foi realizada por transmitância no *S & M Colour Computer* modelo SM - 4 - CH da Suga, no sistema *Hunter* com abertura de 30mm de diâmetro. Os parâmetros de cor medidos em relação à placa petri (L = 100,00; a = 0,02; b = -0,03) foram: **L** = luminosidade (0 = preto e 100 = branco); **a** (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho); **b** (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo); **haze** ( turbidez). Foram realizadas quatro repetições, dispostas em placa de Petri com 0,5 cm de diâmetro e 2 cm de altura.

As análises de minerais foram realizadas através de mineralização por cinzas (AOAC, 2005 – 999.11) e a quantificação por ICP (*Inductively Coupled Plasma*) (AOAC, 2005 – 990.08).

Para extração dos voláteis das amostras utilizou a técnica de microextração em fase sólida (SPME), em *headspace* com fibra Supelco divinilbenzeno-carboxen-PDMS (DVB/CAR/PDMS). As análises foram realizadas no Laboratório de Cromatografia Gasosa da Embrapa Agroindústria de Alimentos. As amostras de 1 g foram mantidas sob agitação por 1h, sem aquecimento, em placa de agitação marca Ika®. Para extração dos voláteis, a fibra foi exposta à amostra em *headspace* por 15 minutos. A dessorção térmica dos voláteis foi realizada diretamente no injetor do cromatógrafo gasoso por 3 minutos. A análise foi realizada em cromatógrafo gasoso Agilent 6890N com detector de ionização de chama (DIC) e coluna 5%-difenil-95%-dimetilpolisiloxano (HP5) 30m de comprimento, 0,32mm de diâmetro interno e 0,25µm de espessura do filme. A programação de temperatura do forno foi de 3 minutos a 40°C, seguida de aquecimento até 240°C a 3°C/minutos, permanecendo por 10 minutos a 240°C; as temperaturas do injetor e do detector foram 250°C e 280°C respectivamente. O gás de arraste utilizado foi hidrogênio.

### **2.5.1 Análise Sensorial**

A análise sensorial foi realizada em duas etapas. Primeiramente, realizou-se um teste de preferência para definir qual a condição do processo de osmose inversa em regime estacionário, ou seja, sem que houvesse concentração do suco, seria a melhor do ponto de vista sensorial. Para que este teste fosse realizado, houve a necessidade de padronizar o suco de abacaxi quanto à sua doçura e assim, um teste prévio para definição da doçura ideal foi realizado, indicando qual quantidade de açúcar deveria ser adicionada ao suco.

O resultado do teste de preferência foi utilizado para a definição da temperatura e pressão do processo de concentração do suco de abacaxi.

Na segunda etapa, o suco concentrado por osmose inversa foi comparado a três amostras comerciais de suco de abacaxi concentrado através de teste de preferência. Nesta etapa, foi necessário realizar um teste para definição da diluição ideal destes sucos, para que os mesmos pudessem ser avaliados com o mesmo teor de sólidos solúveis.

Em todos os testes, as amostras foram apresentadas de forma monádica, em copos plásticos descartáveis de 50 ml, codificados com números de três algarismos, à temperatura de refrigeração. A ordem de apresentação das amostras foi balanceada segundo MacFIE *et al.* (1989). Entre a avaliação de uma amostra e outra, ofereceu-se água ao provador para limpeza do palato.

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Análise Sensorial e Instrumental da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

#### **2.5.1.1 Teste de doçura ideal**

Para a definição da doçura ideal, as amostras foram avaliadas por 80 consumidores de suco de abacaxi não treinados (MEILGAARD, 1999)..

Foram adicionadas às amostras de suco de abacaxi cinco concentrações diferentes de açúcar 0, 2, 4, 6 e 8%, fazendo com que o teor de sólidos solúveis, expresso em °Brix, fosse de 10,3; 12,2; 14; 15,4 e 17, respectivamente.

A doçura ideal foi avaliada através de escala estruturada de nove pontos, variando de: 1 – pouco doce a 9 – muito doce.

#### **2.5.1.2 Teste de diluição ideal**

Nesta etapa, as amostras foram previamente avaliadas para a definição da *diluição ideal*, ou seja, da quantidade de água que deveria ser adicionada ao suco, antes da sua avaliação. Este teste foi realizado com 69 consumidores não treinados, segundo método descrito por MEILGAARD (1999).

O suco concentrado foi diluído em 5 concentrações diferentes (5°Brix, 7°Brix, 9°Brix, 11°Brix e 13°Brix) e depois adicionado de açúcar na quantidade definida no teste de doçura ideal realizado anteriormente.

A diluição ideal foi avaliada através de escala estruturada de nove pontos, variando de: 1 – muito ralo (fraco) a 9 – muito concentrado (forte).

#### **2.5.1.3 Teste de preferência e intenção de compra**

No teste de preferência e intenção de compra das amostras obtidas através do planejamento experimental, as amostras de suco adoçadas foram avaliadas por 84 provadores de suco de abacaxi não treinados, segundo método descrito por MEILGAARD (1999), sendo servidas com teor de açúcar definido no teste de “doçura ideal” não necessitando ser diluídos.

Com o resultado do teste de diluição ideal, os sucos devidamente diluídos foram adoçados e avaliados pelo teste de preferência e intenção de compra. É importante ressaltar

que as marcas comerciais de suco concentrado já continham açúcar e por isso, para a comparação, o Brix final do suco teste, após adição de açúcar, foi medido e as marcas comerciais diluídas até a mesma concentração.

As amostras do suco teste e dos comerciais reconstituídos foram avaliadas quanto à *aceitação global* por 79 consumidores não treinados, segundo MEILGAARD (1999).

A preferência dos consumidores foi avaliada através de escala hedônica de nove pontos, variando de: 1 – desgostei extremamente a 9 – gostei extremamente. A intenção de compra foi investigada empregando escala estruturada de sete pontos, variando de 1 – definitivamente não compraria a 7 – definitivamente compraria. As fichas utilizadas nestes testes estão apresentadas no ANEXO B.

## **2.6 Análise estatística**

Os resultados do planejamento experimental foram submetidos ao tratamento estatístico para planejamento experimental (DOE) e análise de variância (ANOVA) no software *Statistica* 7.0.

Os dados da preferência dos consumidores foram submetidos a análise de variância (ANOVA), teste de Fisher e de médias, usando o software estatístico XLSTAT 7.5.

Os resultados das análises físico-químicos e instrumentais foram avaliados pela análise de variância (ANOVA), teste de Tukey e de médias, usando o software estatístico XLSTAT 7.5.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Despolpamento

Foram realizados três processos de despolpamento com diferentes quantidades de frutos. Considerando o peso inicial dos frutos, o descarte dos frutos após a etapa de seleção, o resíduo obtido (coroa, casca, *etc.*), o rendimento médio dos três processos foi de 32%.

#### 3.2 Centrifugação

O processo de centrifugação foi realizado para padronizar o teor de sólidos em suspensão do suco de abacaxi integral. Este procedimento também melhorou a eficiência do processo de osmose inversa, pois o suco utilizado como alimentação apresentou uma menor quantidade de partículas, que poderiam resultar na formação de uma barreira dinâmica sobre a superfície da membrana, fazendo com que o fluxo diminuísse. A cada 12 litros de suco adicionados ao cesto da centrífuga, aproximadamente 9 litros de suco centrifugado eram recuperados, representando um rendimento de 75 %.

A comparação entre as características do suco integral e do suco centrifugado evidenciou que os mesmos se apresentavam com valores semelhantes para os parâmetros avaliados (Tabela 2).

**Tabela 2.** Análises físico-químicas dos sucos de abacaxi integral e centrifugado.

| Análises   | Suco integral            | Suco centrifugado        |
|--|--------------------------|--------------------------|
| <b>PH</b>  | 3,45 ± 0                 | 3,48 ± 0,01              |
| <b>Acidez (mg/100g de ácido Cítrico)</b>                         | 0,69 <sup>a</sup> ± 0    | 0,67 <sup>b</sup> ± 0,05 |
| <b>Teor de sólidos solúveis (°Brix)</b>                          | 11 <sup>a</sup> ± 0,1    | 10,6 <sup>a</sup> ± 0,4  |
| <b>Teor de sólidos totais (g/100g)</b>                           | 11,1 <sup>a</sup> ± 0,02 | 10,9 <sup>a</sup> ± 0,56 |
| <b>Concentração de fenólicos totais (mg de ác. Gálico /100g)</b> | 89,1 <sup>a</sup> ± 0,1  | 91,2 <sup>a</sup> ± 2,6  |

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ) entre si.

Com exceção da acidez total, todos os demais parâmetros não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre o suco integral e o centrifugado. Os valores de acidez dos sucos apresentaram diferença significativa entre si.

Bonnas *et al.* (2003) avaliando abacaxi da cultivar Smooth cayenne observaram valores médios de sólidos solúveis totais variando de 4,2 a 10,4 °Brix.. Para os teores de acidez total titulável, verificaram valores entre 0,45 a 0,89% expressos em ácido cítrico. Essa variação pode ser atribuída ao grau de amadurecimento do abacaxi, que embora seja

normalmente definido pela coloração da casca, a qual apresentava boa uniformidade, é um indicador que pode ser influenciado por outros fatores, tais como clima, tamanho dos frutos.

SUN *et al.* (2002) avaliaram o perfil de compostos fenólicos em diversas frutas, dentre elas o abacaxi, e verificou um teor de 40 mg de ácido gálico por 100 gramas de fruta, sendo este valor inferior ao encontrado no presente trabalho. Esta diferença pode ser decorrente dos meios de cultivo e armazenamento do fruto. Além disso, diferenças na metodologia podem gerar resultados discrepantes.

O suco centrifugado apresentou uma maior luminosidade e, conseqüentemente, menor turbidez em relação ao suco integral, devido à remoção parcial dos sólidos em suspensão e, provavelmente, à diminuição no teor de fibras, presente originalmente no suco integral. Em relação aos parâmetros de cor, houve diferença significativa ( $p < 5\%$ ) entre as amostras. Para o parâmetro de cor “a” os sucos apresentaram valores na faixa que determina a cor verde, entretanto o suco integral apresentou maior intensidade. Já para o parâmetro de cor “b”, as amostras apresentaram valores na faixa representativa da cor amarela, sendo que o suco centrifugado apresentou a maior intensidade de amarelo (Tabela 3).

**Tabela 3.** Análise instrumental de cor dos sucos de abacaxi integral e centrifugado.

| Análises                 | Suco integral             | Suco centrifugado        |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Luminosidade (L)         | 22,71 <sup>a</sup> ± 0,09 | 40,4 <sup>b</sup> ± 7,7  |
| a                        | -3,59 <sup>a</sup> ± 0,05 | -0,9 <sup>b</sup> ± 0,3  |
| b                        | 10,46 <sup>a</sup> ± 0,2  | 16,3 <sup>b</sup> ± 1,5  |
| Turbidez ( <i>Haze</i> ) | 95,83 <sup>a</sup> ± 0,2  | 83,88 <sup>b</sup> ± 5,2 |

L (0=preto e 100 = branco); a<sub>r</sub> (-80 até zero = verde, e do zero ao +100 = vermelho); b (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo).

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ) entre si.

### 3.3 Processo de Osmose Inversa no Módulo Espiral

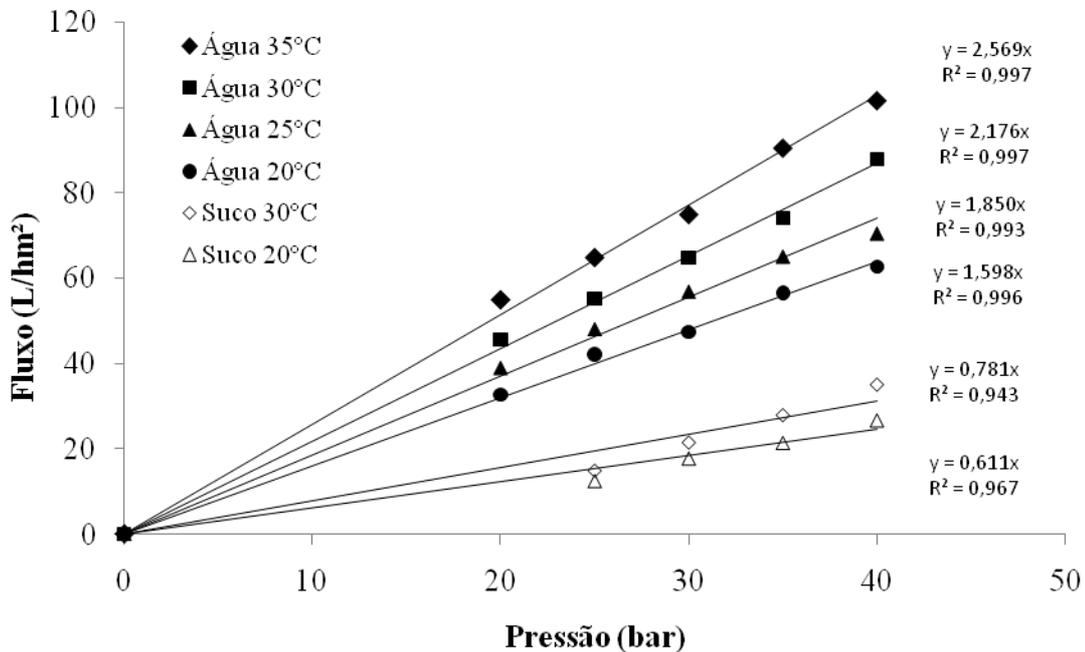
#### 3.3.1 Permeabilidade

A permeabilidade da membrana, tanto para a água como para o suco de abacaxi, foi determinada em diferentes condições de pressão e temperatura (Figura 14).

Foram realizados ensaios com água nas condições de 20 bar, 25 bar, 30 bar, 35 bar e 40 bar de pressão e 20°C, 25°C, 30°C e 35°C. Nota-se que, na condição de 40 bar de pressão e 35°C, foi obtido o maior valor de fluxo permeado, 100 L/hm<sup>2</sup>, enquanto que a 20 bar e 20°C obteve-se o menor fluxo, 32 L/hm<sup>2</sup>.

Observando-se o comportamento dos fluxos no teste anterior, decidiu-se testar apenas as temperaturas de 20°C e 30°C na permeabilidade ao suco.

Como já era esperado, pode-se notar que o processo no qual o suco foi submetido a 40 bar e 30°C apresentou o maior valor de fluxo permeado, 35 L/hm<sup>2</sup>, enquanto o processo realizado à mesma pressão, porém a 20°C, obteve um fluxo menor, 25 L/hm<sup>2</sup>.



**Figura 14.** Permeabilidade à água e ao suco de abacaxi centrifugado em módulo de osmose inversa de configuração espiral.

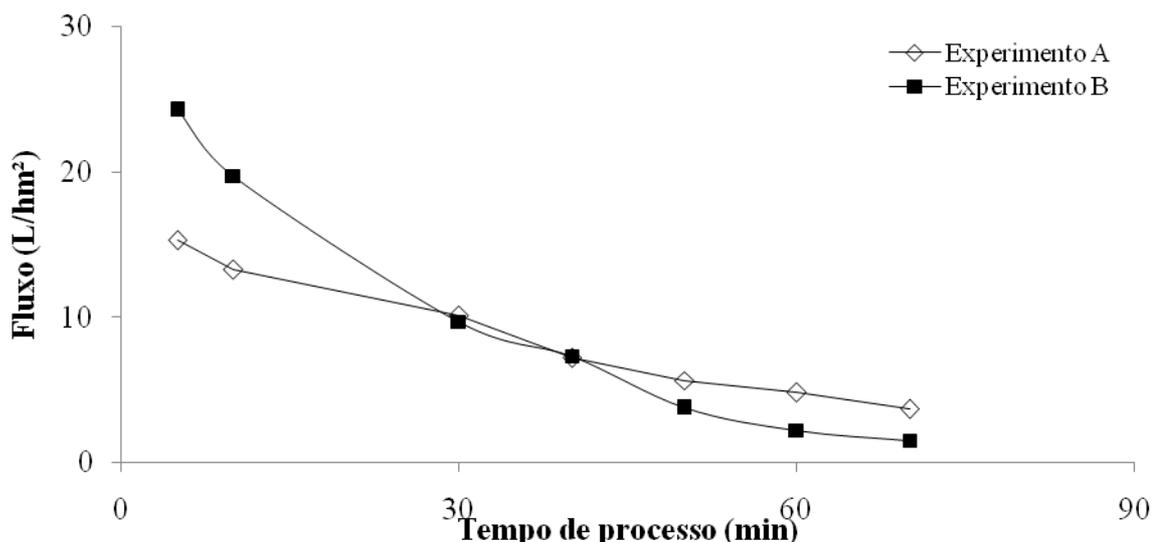
Observou-se ainda que o fluxo limite, isto é, valor no qual o fluxo permeado torna-se constante, independente do aumento da pressão aplicada à membrana, não foi atingido. Este fato foi consequência de uma limitação do sistema, cuja pressão máxima de operação é 40 bar.

### 3.3.2 Processo de concentração

Os testes de concentração foram realizados a 20°C (próxima a ambiente) e 40 bar, pressão máxima do sistema.

Foram utilizados 26 litros de suco de abacaxi previamente centrifugado, em regime de batelada alimentada, com adição de 1 litro de suco para cada litro de permeado recolhido. Os processos apresentaram um fluxo inicial médio de 20 L/hm<sup>2</sup> e um fluxo médio final de 2,5 L/hm<sup>2</sup>, quando o processo foi então encerrado (Figura 15).

O fator de concentração volumétrico (FCV), definido como a relação entre o volume de alimentação inicial (suco centrifugado) e o volume da fração retida pela membrana (suco concentrado), foi igual a 2,5, correspondendo a um teor de sólidos solúveis de 24,5°Brix para o suco concentrado final.



**Figura 15.** Fluxo de permeado de suco de abacaxi em função do tempo de processamento. Osmose inversa em módulo de configuração espiral.

Nota-se a queda do fluxo ao longo do processo, decorrente da concentração dos sólidos presentes no suco, decorrente do aumento no teor das partículas de baixa e alta massa molar, resultando no aumento da pressão osmótica do suco, e conseqüentemente, na diminuição da força motriz, além do aumento da viscosidade do produto e da incrustação na membrana.

Após cada processo, o suco centrifugado (utilizado como alimentação) e o suco concentrado foram analisados em relação às suas propriedades físico-químicas (Tabela 4).

**Tabela 4.** Análises físico-químicas do suco de abacaxi centrifugado e concentrado por osmose inversa no módulo espiral.

| Análises   | Suco centrifugado | Suco concentrado |
|--|-------------------|------------------|
| PH   | 3,44              | 3,36             |
| Acidez (mg/100g de ácido cítrico)                        | 0,79 ± 0,01       | 1,70 ± 0,09      |
| Teor de sólidos solúveis totais (°Brix)                  | 11,10 ± 0,3       | 24,50 ± 1,15     |
| Teor de sólidos totais (g/100g)                          | 11,13 ± 0,32      | 24,75 ± 1,09     |
| Concentração de fenólicos totais (mg de ác. Gálico/100g) | 35,07 ± 2,63      | 89,3 ± 4,72      |

Os teores de sólidos solúveis, sólidos totais e a acidez titulável do suco concentrado aumentaram 2,2 vezes em relação aos sucos integral e centrifugado, ficando bem próximos do fator de concentração volumétrico (FCV) obtido no processo. A concentração de compostos fenólicos totais também aumentou proporcionalmente ao FCV, 2,5 vezes. A umidade do suco diminuiu como era de se esperar, pois houve a remoção da água durante o processo de concentração.

Em relação à avaliação instrumental de cor, a luminosidade do suco concentrado diminuiu e a turbidez aumentou, conseqüência da concentração dos sólidos no suco após sua concentração. Quanto aos parâmetros de cor, observou-se a manutenção em ambos os sucos na faixa que caracteriza a cor vermelha ( $a_{\text{Hunter}}$ ), sendo que o suco centrifugado apresentou maior intensidade desta cor. Os dois sucos apresentaram valores de  $b_{\text{Hunter}}$ , dentro da faixa que representa a cor amarela. O suco concentrado apresentou maior intensidade desta cor (Tabela 5).

**Tabela 5.** Análise instrumental de cor de suco de abacaxi centrifugado e concentrado no módulo espiral.

| Análises                 | Suco centrifugado         | Suco concentrado          |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Luminosidade (L)         | 52,70 <sup>a</sup> ± 3,20 | 33,01 <sup>b</sup> ± 2,98 |
| a                        | 3,11 <sup>a</sup> ± 0,13  | 2,48 <sup>b</sup> ± 0,29  |
| b                        | 13,11 <sup>b</sup> ± 0,68 | 13,93 <sup>a</sup> ± 0,47 |
| Turbidez ( <i>Haze</i> ) | 77,62 <sup>a</sup> ± 1,42 | 91,63 <sup>b</sup> ± 1,91 |

L (0=preto e 100 = branco); a (-80 até zero = verde, e do zero ao +100 = vermelho); b (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo). \* médias de dois processos e análises em triplicata cada. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ( $p>0,05$ ) entre si.

### 3.4 Processos de Osmose Inversa em Módulo Quadro e Placas

#### 3.4.1 Permeabilidade

Foram realizados ensaios de permeabilidade hidráulica e do suco nas temperaturas de 20°C, 30°C e 40°C (Figura 16).

Pode ser observado que o fluxo permeado de água aumenta, tanto com o aumento da pressão aplicada à membrana, como com o aumento da temperatura de processo. A relação entre o fluxo permeado e a pressão é linear.

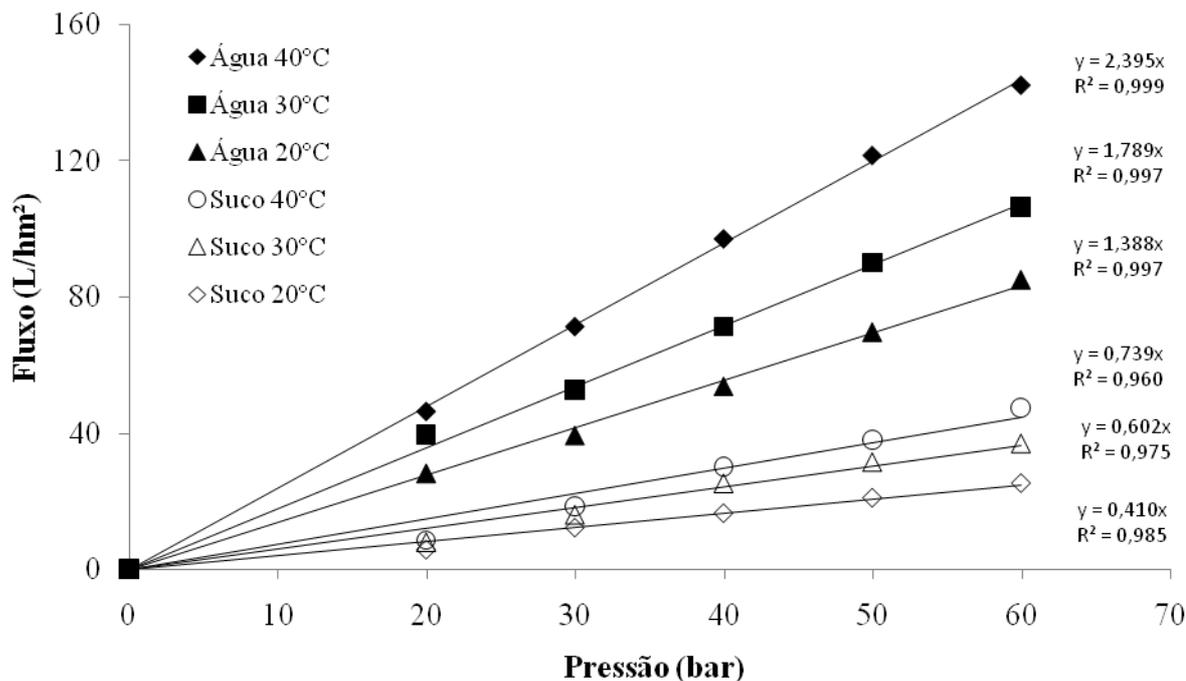
Além da pressão, a temperatura também é um fator importante para o aumento do fluxo de permeado. O processo realizado à pressão de 60 bar e 40°C apresentou um fluxo de 142 L/hm<sup>2</sup> enquanto o processo conduzido com a mesma pressão, mas a 20°C teve uma redução no fluxo para 85 L/hm<sup>2</sup>, 60% menor do que o obtido na maior temperatura.

Com o aumento da temperatura há diminuição da viscosidade do produto, aumento no coeficiente de permeabilidade da membrana e aumento do coeficiente de difusividade da solução, resultando no aumento do fluxo permeado (Álvares *et al.* 1998). Quanto menor o valor de pressão aplicada pela bomba, menor a diferença entre a pressão osmótica do suco de abacaxi, resultando na diminuição da força motriz total.

Após o teste de permeabilidade com água, foi avaliado o comportamento da membrana com o suco de abacaxi, através do teste de permeabilidade ao suco. Novamente, os processos realizados a pressões mais altas (60 bar) apresentaram os maiores valores de fluxo permeado,

a 40°C, 47 L/hm<sup>2</sup>, enquanto os processos realizados a 30°C e 20°C na mesma pressão apresentaram fluxo permeado de 37 L/hm<sup>2</sup> e 25 L/hm<sup>2</sup>, respectivamente.

Conforme esperado, a permeabilidade do suco foi sempre menor que a permeabilidade da água nas mesmas condições de pressão e temperatura, pois o suco possui sólidos em suspensão e solúveis, resultando em um maior valor de viscosidade e pressão osmótica, e no menor fluxo permeado, pois este é função das características da membrana, do produto a ser processado (viscosidade, teor de sólidos em suspensão e concentração) e da força motriz aplicada à membrana.



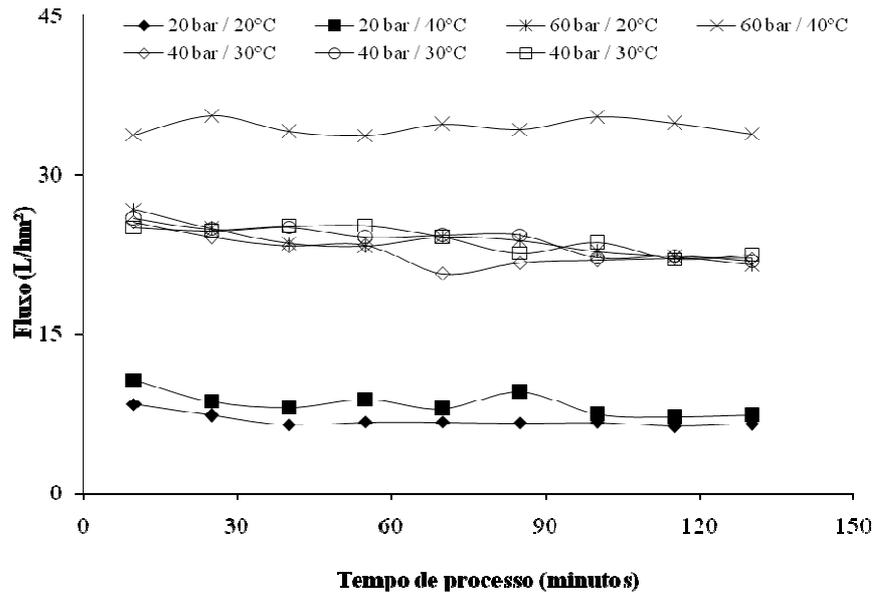
**Figura 16.** Permeabilidade à água e ao suco de abacaxi centrifugado em módulo de osmose inversa tipo quadro e placas.

Neste caso, o suco de abacaxi apresenta maior viscosidade que a água, pois possui partículas de baixa e alta massa molar, o que também aumenta seu valor de pressão osmótica, diminuindo o valor da força motriz.

Verifica-se também que, na faixa de pressão estudada, o fluxo limite, ou seja, o valor a partir do qual o fluxo permeado torna-se constante e independente da pressão aplicada, não foi atingido.

### 3.4.2 Planejamento experimental

Após a realização dos processos em regime estacionário, verificou-se que a condição de 40°C e 60 bar apresentou o maior fluxo permeado, aproximadamente 38 L/hm<sup>2</sup>. Os processos conduzidos a 20 bar apresentaram o menor fluxo, entre 10 e 13 L/hm<sup>2</sup>, demonstrando a influência da força motriz no processo e os processos conduzidos à pressão de 40 bar e 30°C permaneceram com o fluxo semelhante ao conduzido em pressão de 60 bar a 20°C, demonstrando a influência da temperatura nas características do fluxo de permeado (Figura 17).



**Figura 17.** Fluxo de permeado de suco de abacaxi centrifugado em função da pressão e da temperatura em regime estacionário.

Os resultados das análises para os sucos obtidos estão expressos na Tabela 6.

Não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) na qualidade físico-química das amostras analisadas. Os gráficos de pareto apresentados no anexo A comprovam esta observação.

**Tabela 6.** Avaliação físico-química dos sucos de abacaxi centrifugado submetidos a diferentes condições de pressão e temperatura no sistema de osmose inversa em regime estacionário.

| Análises  | 20 bar                     |                             | 60 bar                      |                             | 40 bar                      |                             |                             |
|---|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|   | 20°C                       | 40°C                        | 20°C                        | 40°C                        | 30°C                        | 30°C                        | 30°C                        |
| PH  | 3,46<br>± 0,01             | 3,46<br>± 0,01              | 3,45<br>± 0,01              | 3,46<br>± 0,01              | 3,44<br>± 0,01              | 3,46<br>± 0,01              | 3,45<br>± 0,01              |
| Acidez<br>(mg/100g de ácido<br>cítrico)                         | 0,68 <sup>a</sup><br>± 0   | 0,72 <sup>a</sup><br>± 0,07 | 0,75 <sup>a</sup><br>± 0,06 | 0,72 <sup>a</sup><br>± 0,03 | 0,66 <sup>a</sup><br>± 0    | 0,75 <sup>a</sup><br>± 0,04 | 0,66 <sup>a</sup><br>± 0,04 |
| Teor de sólidos<br>solúveis totais (°Brix)                      | 12,3 <sup>a</sup><br>± 0   | 12 <sup>a</sup><br>± 0      | 12,6 <sup>a</sup><br>± 0,06 | 12,4 <sup>a</sup><br>± 0,06 | 11,9 <sup>a</sup><br>± 0,06 | 12,6 <sup>a</sup><br>± 0,06 | 11,6 <sup>a</sup><br>± 0    |
| Concentração de<br>fenólicos totais (mg<br>de ác. Gálico /100g) | 86,6 <sup>a</sup><br>± 2,8 | 85,6 <sup>a</sup><br>± 1,4  | 84,3 <sup>a</sup><br>± 2,9  | 77,3 <sup>a</sup><br>± 2,1  | 81,1 <sup>a</sup><br>± 4,6  | 84,8 <sup>a</sup><br>± 0,7  | 81,4 <sup>a</sup><br>± 1,6  |

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ) entre si.

### 3.5 Análise Sensorial (Planejamento Experimental)

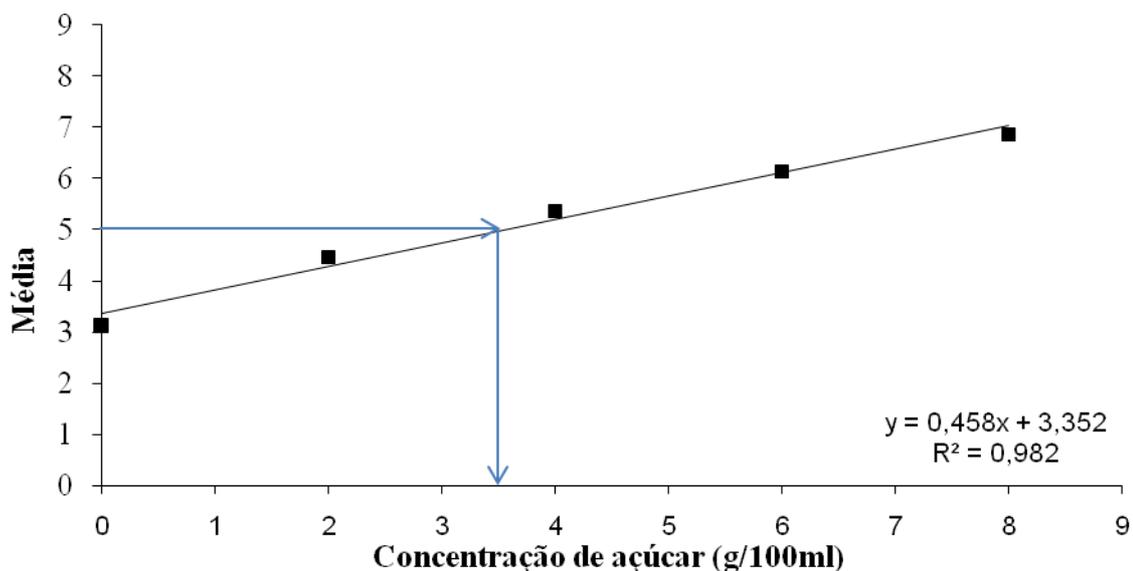
#### 3.5.1 Definição da doçura ideal

Após a obtenção dos resultados foram calculadas as médias das notas de cada amostra (Tabela 7), sendo então elaborado um gráfico relacionando as concentrações de açúcar utilizadas e as médias das notas obtidas (Figura 18).

**Tabela 7.** Média de notas para teste de doçura ideal.

| Amostra | % de açúcar | Média de notas | °Brix |
|---------|-------------|----------------|-------|
| 1       | 0           | 3,11 ± 1,66    | 10,3  |
| 2       | 2           | 4,46 ± 1,91    | 12,2  |
| 3       | 4           | 5,36 ± 1,91    | 14    |
| 4       | 6           | 6,13 ± 1,84    | 15,4  |
| 5       | 8           | 6,86 ± 1,76    | 17    |

Considerando a equação da reta, resultante dos dados na Figura 18 e levando em consideração que a doçura ideal do suco é determinada pela nota 5 ( $y=5$ ), em uma escala de 1 a 9, a concentração ideal de açúcar foi de 0,036 g/mL, ou seja, deveria ser adicionado 36 g de sacarose por litro de suco para ser servido aos consumidores no teste de preferência.



**Figura 18.** Determinação da doçura ideal em suco de abacaxi.

### 3.5.2 Teste de preferência

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados do teste de preferência das amostras obtidas no planejamento experimental.

Observa-se que a amostra de número 3 apresentou a maior nota, 5,9, sendo a preferida pelos consumidores. Mas, após a comparação das notas através do teste de Tukey, verificou-se que a amostra 3 (60 bar / 20°C) não diferiu estatisticamente das amostras 1 (20 bar / 20°C), 5 (40 bar / 30°C) e 6 (40 bar / 30°C), no entanto foi diferente ( $p < 0,05$ ) da amostra 7, que foi obtidas nas mesmas condições das amostras 5 e 6.

O aumento no valor de pressão do processo pode resultar em um aumento no fluxo de permeado, redução no tempo de processo e menores perdas dos compostos de aroma atribuídas à volatilização e adesão à membrana (JIAO, CASSANO & DRIOLI, 2004). Entretanto, com o aumento da temperatura pode haver perdas nestes compostos de aroma, pois são muitas vezes termosensíveis.

**Tabela 8.** Resultados do teste de preferência do planejamento experimental.

| Processo         | Média                      |
|------------------|----------------------------|
| 1. 20 bar / 20°C | 5,36 <sup>abc</sup> ± 2,29 |
| 2. 20 bar / 40°C | 4,44 <sup>d</sup> ± 2,46   |
| 3. 60 bar / 20°C | 5,98 <sup>a</sup> ± 2,18   |
| 4. 60 bar / 40°C | 4,87 <sup>cd</sup> ± 2,29  |
| 5. 40 bar / 30°C | 5,4 <sup>abc</sup> ± 2,41  |
| 6. 40 bar / 30°C | 5,82 <sup>ab</sup> ± 2,04  |
| 7. 40 bar / 30°C | 5,08 <sup>bcd</sup> ± 2,25 |

Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ) entre si.

Verifica-se também que as amostras de suco processadas a 40°C obtiveram as menores médias no teste de preferência, evidenciando que a utilização de temperaturas mais elevadas pode ter prejudicado sensorialmente o suco de abacaxi.

No teste de intenção de compra dos produtos, conforme esperado, a amostra 3, que obteve a melhor média no teste de preferência, também obteve a maior nota para a intenção de compra dos consumidores (Tabela 9).

A amostra 3, entretanto, não apresentou diferença significativa em relação às amostras 1, 5, 6 e 7. Novamente, as amostras processadas na maior temperatura (40°C) obtiveram as menores notas em relação aos outros processos.

**Tabela 9.** Resultado do teste de intenção de compra do planejamento experimental.

| <b>Processo</b>  | <b>Média</b>              |
|------------------|---------------------------|
| 1. 20 bar / 20°C | 4,23 <sup>ab</sup> ± 2,02 |
| 2. 20 bar / 40°C | 3,44 <sup>c</sup> ± 2,11  |
| 3. 60 bar / 20°C | 4,75 <sup>a</sup> ± 1,96  |
| 4. 60 bar / 40°C | 3,77 <sup>bc</sup> ± 2,07 |
| 5. 40 bar / 30°C | 4,26 <sup>ab</sup> ± 2,07 |
| 6. 40 bar / 30°C | 4,51 <sup>a</sup> ± 1,92  |
| 7. 40 bar / 30°C | 4,12 <sup>ab</sup> ± 1,98 |

Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente ( $p>0,05$ ) entre si.

No anexo C estão apresentadas as principais características do público que participou da avaliação sensorial. Estas informações foram obtidas a partir de um rápido questionário aplicado antes do teste, para que fosse possível classificar os provadores segundo suas características sociais.

Apesar de não haver diferença entre as amostras 1, 3, 5, 6 e 7, a condição de 60 bar e 20°C (amostra 3) foi selecionada para a realização dos testes de concentração por osmose inversa, pois como a pressão aplicada à membrana tem influência sobre o valor do fluxo, as pressões de 20 e 40 bar apresentariam fluxos mais baixos que a pressão de 60 bar. Além disso, o aumento no valor de pressão do processo pode resultar em uma redução no tempo de processo e menores perdas dos compostos de aroma atribuídas à volatilização e adesão à membrana (JIAO, CASSANO & DRIOLI, 2004). Entretanto, com o aumento da temperatura pode haver perdas nestes compostos de aroma, pois são muitas vezes termosensíveis.

### **3.6 Processo de concentração por osmose inversa no módulo quadro e placas.**

Em função dos resultados dos testes de preferência e intenção de compra, o processo de concentração do suco de abacaxi foi realizado a 60 bar e 20°C.

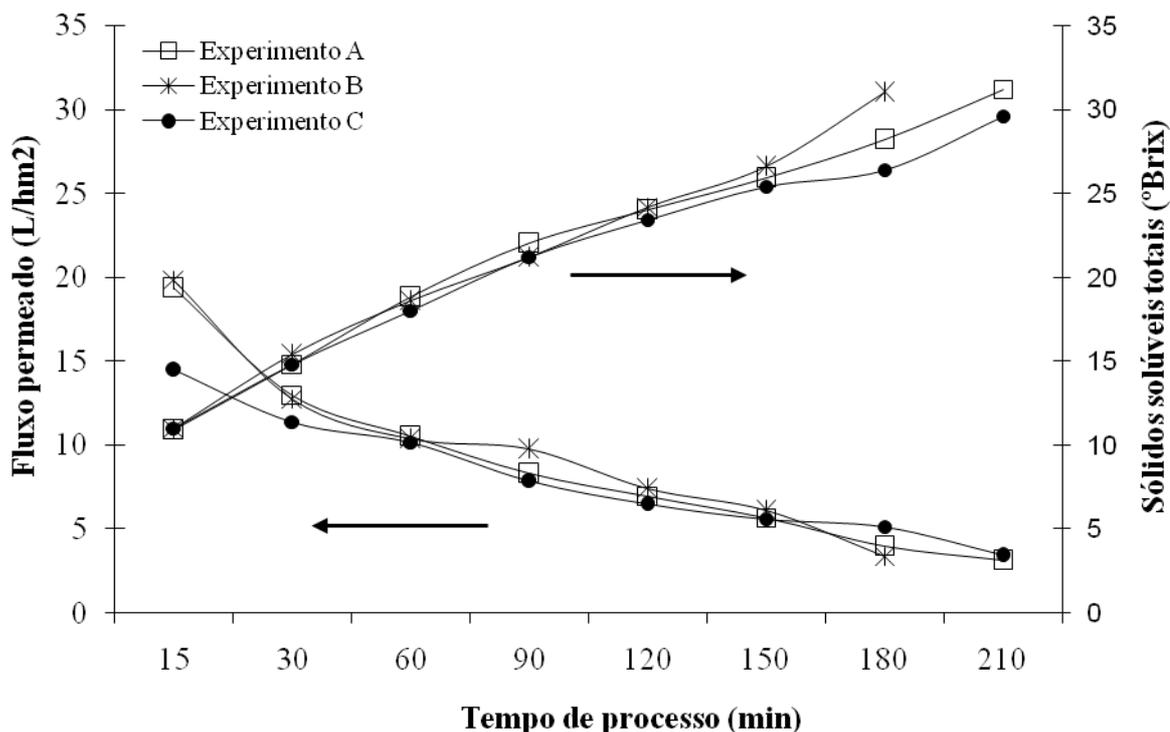
Durante o processo de concentração, verificou-se um fluxo médio inicial de 17 L/hm<sup>2</sup> e final de 3,2 L/hm<sup>2</sup>. Houve uma queda acentuada no fluxo permeado inicial devido à polarização de concentração, consequência do material retido na superfície da membrana, que forma uma barreira dinâmica, dificultando a transferência de massa através da mesma.

Os processos duraram entre 180 e 220 minutos, sendo interrompidos ao verificar-se que não havia mais fluxo permeado. Esse comportamento deve-se ao fato do aumento na quantidade de partículas de baixa massa molar, como os ácidos, fazer com que a pressão osmótica do suco aumente, e acabe se igualando à pressão aplicada à membrana, anulando a ação da força motriz.

Na Figura 19 observa-se o declínio do fluxo permeado ao longo do processo. Nos primeiros minutos, ocorre o fenômeno de polarização de concentração, consequência do acúmulo de material na superfície da membrana, fazendo com que haja uma queda brusca do fluxo nos instantes iniciais do processo. Posteriormente, outro fenômeno, conhecido como incrustação ou *fouling* faz com que a passagem do solvente através da membrana seja

dificultada fazendo com que o fluxo continue a diminuir. O fluxo também é afetado pelo aumento da pressão osmótica do suco, cujo valor se aproxima da pressão aplicada, resultando na diminuição da força motriz total. A viscosidade também tem influência na queda do fluxo permeado, pois quanto maior a viscosidade do produto, menor a sua permeabilidade na membrana.

Ao longo dos processos foi também verificado o grau de concentração do suco pela determinação do teor de sólidos solúveis do suco no tanque de alimentação (Figura 21).



**Figura 19.** Fluxo de permeado e grau de concentração de suco de abacaxi centrifugado em função do tempo de processamento. Osmose inversa em módulo de configuração quadro e placas.

A concentração do suco apresentou comportamento semelhante nos três processos realizados, atingindo valores de concentração muito próximos. O fator de concentração volumétrico foi igual a 2,9, correspondendo a um teor médio de sólidos solúveis de 31,2°Brix.

SÁ *et al.* (2003), avaliaram a concentração de suco de abacaxi por osmose inversa, entretanto, utilizaram uma etapa de hidrólise enzimática associada à microfiltração, como pré-tratamento para a clarificação do suco. Eles observaram um fluxo inicial de 51 L/hm<sup>2</sup> quando o suco foi concentrado em condições de 60 bar e 25°C, e obtiveram um fator de concentração de 4,5. Suco clarificado, com teor de sólidos solúveis totais de 8,4°Brix, foi concentrado a 30,7 °Brix. A diferença entre os valores de fluxo inicial obtidos por Sá e colaboradores e no presente trabalho está relacionada às características da alimentação. O suco clarificado por microfiltração, ao contrário do suco centrifugado, apresentava-se isento de sólidos em suspensão o que pode ter diminuído a influência da polarização de concentração e da incrustação.

Por possuir menor teor de sólidos solúveis, o fator de redução volumétrica do processo foi superior ao processo conduzido com o suco centrifugado, pois este partiu de um teor de sólidos solúveis de aproximadamente 11°Brix. É importante ressaltar que o teor de concentração atingido foi o mesmo nos dois estudos, verificando assim a influência da pressão osmótica do suco no processo de osmose inversa, sugerindo que este fator teve a maior influência para a interrupção do processo.

O suco centrifugado (utilizado como alimentação) e o suco concentrado foram analisados ao final de cada processo (Tabela 10).

Verificou-se um aumento de 2,9 vezes para os parâmetros de sólidos solúveis, sólidos totais e acidez total, no suco concentrado, quando comparado ao suco original, sendo este aumento proporcional ao fator de concentração obtido durante o processo.

Entretanto, para o teor de compostos fenólicos o aumento foi de 2,6 vezes, inferior ao fator de concentração do processo, certamente consequência da oxigenação do produto ao longo do processo, devido à recirculação no sistema. Esta perda pode ser evitada industrialmente através da utilização de um gás inerte, como o nitrogênio, que diminuiria a oxigenação do produto e a oxidação de substâncias antioxidantes, como os compostos fenólicos.

**Tabela 10.** Análises físico-químicas do suco de abacaxi centrifugado e concentrado por osmose inversa no módulo quadro e placas.

| Análises  | Suco centrifugado | Suco concentrado | Permeado    |
|---|-------------------|------------------|-------------|
| PH  | 3,48 ± 0,01       | 3,36 ± 0,01      | 4,42 ± 0,09 |
| Acidez (mg/100g de ácido Cítrico)                         | 0,67 ± 0,05       | 1,94 ± 0,05      | 0,01 ± 0    |
| Teor de sólidos solúveis (°Brix)                          | 10,6 ± 0,4        | 31,2 ± 0,6       | 0,1 ± 0,01  |
| Teor de sólidos totais (g/100g)                           | 10,96 ± 0,56      | 32,51 ± 0,56     | -           |
| Concentração de fenólicos totais (mg de ác. Gálico /100g) | 91,19 ± 2,6       | 242,4 ± 11,1     | -           |

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente (p>0,05) entre si.

Houve uma diminuição da luminosidade e um aumento da turbidez no suco concentrado, quando comparado à alimentação. Quanto aos parâmetros de cor, observou-se que os dois sucos se apresentaram na faixa de cor “a” que caracteriza a cor verde com o suco centrifugado apresentando menor intensidade para esta cor e na faixa de cor “b” que caracteriza a cor amarela. O suco concentrado apresentou menor intensidade da cor amarela, indicando algum processo de escurecimento (Tabela 11).

**Tabela 11.** Análise instrumental de cor de suco de abacaxi centrifugado e concentrado por módulo quadro e placas.

| Análises                 | Suco centrifugado        | Suco Concentrado        |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Luminosidade (L)         | 40,4 <sup>a</sup> ± 7,7  | 25,1 <sup>b</sup> ± 2,7 |
| a                        | -0,7 <sup>a</sup> ± 0,3  | -0,9 <sup>a</sup> ± 0,5 |
| b                        | 16,3 <sup>a</sup> ± 1,5  | 13,1 <sup>a</sup> ± 1,7 |
| Turbidez ( <i>Haze</i> ) | 83,88 <sup>b</sup> ± 5,2 | 94,6 <sup>a</sup> ± 2,2 |

L (0=preto e 100 = branco); a (-80 até zero = verde, e do zero ao +100 = vermelho); b (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo). \* médias de três processos e análises em triplicata cada. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ( $p>0,05$ ) entre si.

Foram realizadas análises da composição de minerais presentes nos sucos centrifugado e concentrado (Tabela 12).

**Tabela 12.** Análises de minerais do suco de abacaxi centrifugado e do suco concentrado.

| Análises          | Suco centrifugado | Suco Concentrado |
|-------------------|-------------------|------------------|
| Magnésio (g/100g) | 8,5 ± 0,22        | 25,4 ± 0,79      |
| Fósforo (g/100g)  | 6,2 ± 0,1         | 19,2 ± 1,5       |
| Potássio (g/100g) | 92,9 ± 2,5        | 281,3 ± 11,1     |
| Cálcio (g/100g)   | 8,7 ± 0,3         | 27,1 ± 1,2       |
| Manganês (g/100g) | 0,1 ± 0           | 0,5 ± 0          |
| Ferro (g/100g)    | 0,1 ± 0           | 0,4 ± 0          |
| Cobre (g/100g)    | 0,1 ± 0           | 0,4 ± 0,1        |
| Zinco (g/100g)    | 0,1 ± 0           | 0,5 ± 0          |

Os resultados obtidos para os teores de magnésio, fósforo, potássio e cálcio no suco concentrado apresentaram um aumento de três vezes em relação à alimentação. Os teores de ferro e cobre apresentaram aumento de quatro vezes e os de manganês e zinco apresentaram um aumento de cinco vezes. Deve ser ressaltado que o teor de minerais do suco concentrado foi semelhante e mesmo superior ao fator de concentração volumétrica do processo.

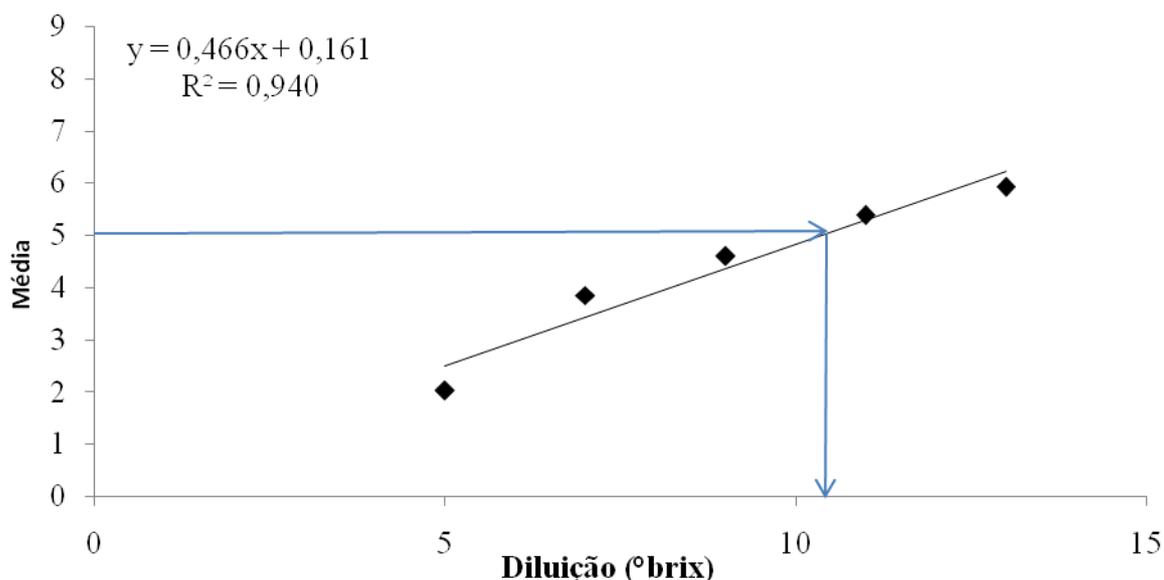
### 3.7 Análise Sensorial (Processo de Concentração)

#### 3.7.1 Teste de diluição ideal

Foi elaborado um gráfico correlacionando as médias das notas obtidas por amostra (Tabela 13) e as diluições aplicadas (Figura 20). Considerando a equação obtida a partir da reta, resultante dos dados da Figura 20 e levando em consideração que a diluição ideal do suco é determinada pela nota 5 ( $y=5$ ), em uma escala de 1 a 9, verificou-se que o suco concentrado de abacaxi deveria ser diluído a um teor de sólidos solúveis de  $10,3^\circ\text{Brix}$ .

**Tabela 13.** Notas médias para teste de diluição ideal de suco concentrado por osmose inversa em módulo quadro e placas

| Amostra | Diluição ( $^\circ\text{brix}$ ) | Nota média     |
|---------|----------------------------------|----------------|
| 1       | 5                                | $2,0 \pm 1,29$ |
| 2       | 7                                | $3,9 \pm 1,83$ |
| 3       | 9                                | $4,6 \pm 1,43$ |
| 4       | 11                               | $5,4 \pm 1,58$ |
| 5       | 13                               | $5,9 \pm 1,82$ |



**Figura 20.** Determinação da diluição ideal em suco de abacaxi concentrado por osmose inversa em módulo de configuração quadro e placas.

Antes da diluição do suco, adicionou-se 36 g de sacarose por litro de suco, obtendo-se assim um suco com  $14^\circ\text{brix}$  sendo diluídas ao teor de sólidos determinado pelo teste de diluição ideal. Com isso as amostras de suco comercial, que já são adoçadas, foram diluídas até se igualarem ao teor de sólidos do suco concentrado por osmose inversa.

#### 3.7.2 Teste de preferência e intenção de compra

A Tabela 14 apresenta o resultado do teste de preferência para o suco de abacaxi concentrado.

**Tabela 14.** Resultado do teste de preferência entre suco concentrado por osmose inversa e três marcas comerciais.

| <b>Amostra</b>                 | <b>Média</b>        | <b>Desvio padrão</b> |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|
| Concentrado por osmose inversa | 5,709 <sup>a</sup>  | 2,27                 |
| Comercial 1                    | 4,608 <sup>bc</sup> | 2,53                 |
| Comercial 2                    | 4,937 <sup>b</sup>  | 2,55                 |
| Comercial 3                    | 4,051 <sup>c</sup>  | 2,21                 |

Resumo das comparações pareadas para AMOSTRA (Fisher (LSD)):  
Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente ( $p>0,05$ ) entre si.

Para o teste de preferência do consumidor, o suco concentrado por osmose inversa obteve a maior nota média, 5,7, quando comparado às amostras comerciais 1, 2 e 3, notas 4,6, 4,9 e 4,0, respectivamente. Após a realização dos testes de Anova e Fisher, verificou-se que a diferença entre as notas recebidas pelo suco concentrado por osmose inversa e das marcas comerciais foi significativa em nível de 5%. A Tabela 15 apresenta o resultado do teste de intenção de compra pra o suco de abacaxi concentrado.

**Tabela 15.** Resultado do teste de intenção de compra entre suco concentrado por osmose inversa e três marcas comerciais.

| <b>Amostra</b>                 | <b>Média</b>      | <b>Desvio padrão</b> |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|
| Concentrado por osmose inversa | 4,48 <sup>a</sup> | 1,99                 |
| Comercial 1                    | 3,38 <sup>b</sup> | 2,13                 |
| Comercial 2                    | 3,66 <sup>b</sup> | 2,13                 |
| Comercial 3                    | 3,17 <sup>b</sup> | 1,95                 |

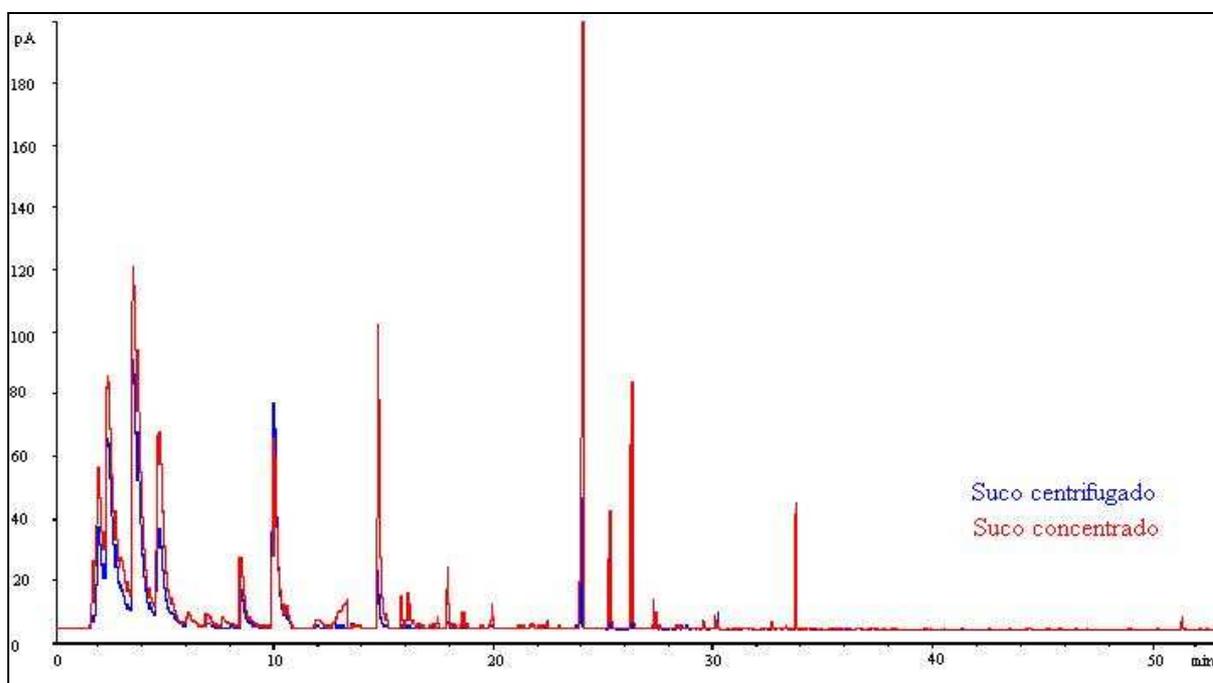
Resumo das comparações pareadas para AMOSTRA (Fisher (LSD)):  
Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente ( $p>0,05$ ) entre si.

O teste de intenção de compra, assim como no teste de preferência do consumidor, apresentou o mesmo comportamento com notas 4,4, para o suco concentrado por osmose inversa e 3,3, 3,6 e 3,1 para as amostras comerciais 1, 2 e 3, respectivamente O suco concentrado por osmose inversa e os comerciais diferiram entre si ( $p<0,05$ ), segundo os testes de Anova e Fisher.

### 3.8 Análise cromatográfica

Na Figura 21 encontram-se dispostos os cromatogramas da fração volátil de amostras do suco de abacaxi centrifugado e do suco de abacaxi concentrado pelo processo de osmose inversa.

Através da avaliação dos cromatogramas pode-se constatar que ocorreram diferenças entre os perfis cromatográficos dos dois sucos de abacaxi, o centrifugado e o concentrado. Para alguns picos observou-se uma maior intensidade de substâncias no suco concentrado por osmose inversa, isso demonstrou que o processo promoveu a concentração de compostos voláteis, responsáveis pelo aroma, do suco de abacaxi. Com a concentração houve o aparecimento de picos para o suco concentrado que não foram observados no suco centrifugado.



**Figura 21.** Cromatograma do suco centrifugado e do suco concentrado a partir de HS-SPME-CG-DIC em coluna HP5.

## 4 CONCLUSÕES

Para o processo de concentração por osmose inversa no módulo quadro e placas, as amostras processadas em regime estacionário a diferentes condições de pressão e temperatura não apresentaram diferença significativa quanto aos parâmetros físico-químicos, entretanto houve diferença significativa na qualidade sensorial, sendo a condição de 60 bar e 20°C a preferida pelos consumidores que participaram do teste de preferência, sendo então esta definida como a melhor condição para o processo de concentração.

O processo de concentração por osmose inversa resultou na concentração do suco de abacaxi previamente centrifugado de 11°Brix a 31,2°Brix, correspondendo a um fator de concentração volumétrica de 2,9. As propriedades físico-químicas aumentaram proporcionalmente ao fator de concentração volumétrica, isto é, o aumento dessas características foi semelhante à redução na diluição do suco.

O suco tratado apenas pelo processo de centrifugação, apresentando-se o mais próximo possível do suco integral, teve a mesma capacidade de concentração que um suco clarificado por microfiltração.

Os testes de preferência e intenção de compra mostraram que o suco concentrado por osmose inversa foi o preferido pelos consumidores, quando comparado a três marcas de sucos de abacaxi concentrados comerciais.

Os compostos de aroma foram concentrados após o processo, havendo detecção de novos picos não detectados no suco centrifugado.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a osmose inversa foi eficaz no processamento do suco de abacaxi centrifugado, podendo ser indicado para a etapa de pré-concentração do suco, com garantia da manutenção da sua qualidade físico-química e sensorial.

## **5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Avaliar o perfil qualitativo e quantitativo dos compostos de aroma do suco de abacaxi em função da temperatura utilizada no processo de concentração por osmose inversa;
- Avaliar a relação entre alterações na cor e a concentração de compostos fenólicos durante a concentração do suco;
- Estudar a viabilidade técnica da concentração de suco de abacaxi pelo acoplamento do processo de osmose inversa e evaporação osmótica.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, S.; RIERA, F. A.; ALVAREZ, R.; COCA, J.. Permeation of apple aroma compounds in reverse osmosis. **Separation and Purification Technology**, v. 14, pp. 209 – 220, 1998.
- ALVAREZ, S.; RIERA, F.A.; ALVAREZ, R.; COCA, J.; CUPERUS, F.P.; BOUWER, S.T.; BOSWINKEL, G.; VAN GERMET, R.W.; VELDSINK, J.W.; GIORNO, L.; DONATO, L.; TODISCO, S.; DRIOLI, E.; OLSSON, J.; TRAGARDH, G.; GAETA, S.N.; PANYOR, L.. A new integrated membrane process for producing clarified apple juice aroma concentrate. **Journal of Food Engineering**, v.46, pp.109 – 125, 2000.
- AMERINE, M.A.; PANGBORNE, R.M. & ROESSLER, E.B. **Principles of sensory evaluation of food**. New York: Academic Press, 1965. 802p
- AOAC. American Official of Analytical Chemists. Official methods of analysis of AOAC International. 17<sup>ed</sup>. Washington, 2000.
- AOAC. American Official of Analytical Chemists. Official methods of analysis of AOAC International. 17<sup>ed</sup>. Washington, 2005.
- BARBOSA, A.B..**Aplicação de leveduras não-Saccharomyces isoladas de jaca (*Arthocarpus heterophyllus* Lam) no processo de elaboração de vinho tinto cv Cabernet Sauvignon**. Rio de Janeiro: Instituto de Química, UFRJ, 2006. p.112. Dissertação de mestrado.
- BARTOLOMÉ, A. P.; RUPÉREZ, P.; FÚSTER, C.. Pineapple fruit: morphological characteristics, chemical composition and sensory analysis of Red Spanish and Smooth Cayenne cultivars. **Food Chemistry**, v.53, pp.75 – 79, 1995.
- BONNAS, D. S.; CHITARRA, A. B.; PRADO, M. E. T.; JÚNIOR, D. T.. Qualidade do abacaxi cv *smooth cayenne* minimamente processado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 2, pp. 206 – 209, Agosto 2003.
- BOTREL, N. Tecnologia pré e pós-colheita do abacaxi. On-line. Disponível em: <<http://www.ctaa.embrapa.br/ped/171999209.htm>>. Acesso em: 20 set.2006.
- BOWDEN, R. P; ISAACS, A. R.. Concentration of pineapple juice by reverse osmosis. **Food Australia**, v.41, n.7, pp.850 – 851, 1989.

- BRADDOCK, R. J.; NIKDEL, S. & NAGY, S. Composition of some organic and inorganic compounds in reverse osmosis-concentrated citrus juices. **Journal of Food Science**, v.53, n.2, pp.508–512, 1988.
  
- BRASIL. MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 1, de 07 de Janeiro de 2000. **Fixação dos padrões de identidade e qualidade para sucos de frutas**. Brasília.
  
- BRASIL. MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 12, de 12 de Setembro de 2003. **Fixação dos Padrões de identidade e qualidade de sucos tropicais e néctares**. Brasília
  
- CAMARA, M.; DIEZ, C.; TORIJA, E..Chemical characterization of pineapple juices and nectars. Principal components analysis. **Food Chemistry**, v.54, pp.93 – 100, 1995.
  
- 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, pp.153 – 163, 2003
  
- CHARLES, H.. **Food Science**. 2nd Edition. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1982. 564p.
  
- CHEN, C. S.; SHAW, P. E.; PARISH, M. E.. Orange and tangerine juices. In S. Nagy, C. S. Chen, & P. E. Shaw (Eds.), **Fruit juice processing technology** (pp. 110–165). Auburndale: AgScience, 1993.
  
- CHERYAN, M., **Ultrafiltration Handbook**. Technomic Publishing Co. Ltd., Lancaster, PA, 1986.
  
- CHUA, H.; RAO, M. A.; ACREE, T. E.; CUNNINGHAM, D. G.. Reverse osmosis concentration of apple juice: flux and flavor retention by cellulose acetate and polyamide membranes. **Journal of Food Process Engineering**, v.9, pp. 231 – 245, 1987.
  
- 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. **Revista de ciência e tecnologia de alimentos**, 25(3), pp. 579 – 583, jul/set, 2005.
  
- COUREL, M.; DORNIER, M.; HERRY, J. M.; RIOS, G. M.; REYNES, M.. Effect of operating conditions on water transport during the concentration of sucrose solutions by osmotic distillation. **Journal of Membrane Science**, v.170, pp.281 – 289, 2000.

- CUNHA, G. A. P.; CABRAL, J. R. S.; SOUZA, L. F. S.. **O abacaxizeiro: cultivo, agroindústria e economia**. Brasília: Embrapa. Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999, 48p.; il.
- CUPERUS, F. P. & NIJHUIS, H. H., Applications of membrane technology to Food Process. **Trends in Food Science Technology**, v.4, n.9, pp. 277 – 282, 1993.
- DUTCOSKY, S.D. **Análise sensorial de alimentos**. 20<sup>ed</sup>. Curitiba: Champagnat, 1996.
- FENNEMA, O. R.. **Part II – Physical principles of food preservation**. Marcel Dekker Inc., New York, 1975.
- FILHO, V. W. G.. **Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado**. São Paulo. Editora Edgard Blücher, 2005
- FRANCO, G.. Tabela de composição química dos alimentos. São Paulo, Atheneu, 1989.
- FURLAN, L. F.. Rumo à Simplificação do Comércio Exterior: Conquistas e Desafios. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, **Informativo Secex**, ano IV, nº 30, Out. 2001.
- GADEA, A. Reverse osmosis of orange juice. In: **Proceedings of the international fruit juice congress**, Orlando, USA, 1987
- GARDNER, P. T.; WHITE, T. A. C.; MCPHAIL, D. B.; DUTHIE, G. G.. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. **Food Chemistry**, v.68, pp.471 – 474, 2000.
- GAVA, A. J.. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo, Editora Nobel, 1984.
- GIACOMELLI, E. J.; PY, C. **Abacaxi no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1981. p. 101
- GIRARD, B. & FUKUMOTO, L.R.. Membrane processing of fruit juices and beverages: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.40,n.2, pp.91–157; 2000.
- GORGATTI, A N. et al. **Abacaxi para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita**. Brasília: Frupex. 1996. 41p.

- GORTNER, W. A Chemical and physical development of the pineapple fruit. IV. Plant pigment constituents. **Journal of Food Science**, v.30, pp.30 – 32, 1965.
- GORTNER, W. A.; SINGLETON, V. L. Chemical and physical development of the pineapple fruit. III. Nitrogenous and enzyme constituents **Journal of Food Science**, v. 30, p.24-29, 1965
- GRANADA, G. G.; ZAMBIAZI, R. C.; MENDONÇA, C. R.. Abacaxi: produção, mercado e subprodutos. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.22, n.2, p. 405 – 422, Jul./Dez., 2004.
- HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NÓBREGA, R.. **Processos de separação por membranas**. Rio de Janeiro, e-papers, 2006.
- HAJEEH, M.; CHAUDHURI, D. Reliability and availability assessment of reverse osmosis, **Desalination**, v.130, pp.185 – 192, 2000.
- HOGAN, P. A.; CANNING, R. P.; PETERSON, P. A.; JOHNSON, R. A. & MICHAELS, A. S. A new option: osmotic distillation. **Chemical Engineering Progress**, July, pp. 49 – 61, 1998.
- HOLLMAN, P. C. H.; HERTOOG, M. G. L.; KATAN, M. B.. Analysis and health effects of flavonoids. **Food Chemistry**, v.57, pp.43 – 46, 1996.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?z=t&o=22&i=P>>, acesso em 29 jul. 2007.
- JARIEL, O.; REYNES, M.; COUREL, M.; DURAND, N.; DORNIER, M.. Comparison of quelques techniques de concentration des jus de fruits. **Fruits**, v. 51, pp. 437 – 450, 1996.
- JESUS, D.F.; Leite, M.F.; SILVA, L.F.M.; MODESTA, R.D.; MATTA, V.M.; CABRAL, M.C. Orange (*Citrus sinensis*) juice concentration by reverse osmosis. **Journal of Food Engineering**, v.81, pp. 287 – 291, 2007.
- JIAO, B.; CASSANO, A.; DRIOLI, E.. Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review. **Journal of Food Engineering**, v.63, pp.303 – 324, 2004.
- JOSHIPURA, K. J.; ASCHERIO, A.; MANSON, J. E.; STAMPFER, M. J.; RIMM, E. B.; SPEIZER, F. E.; HENNEKENS, C. H.; SPIEGELMAN, D.; WILLETT, W. C. Fruit and

vegetable intake in relation to risk of ischemic stroke. **Journal of American Medical Association**, v. 282, pp. 1233 – 1239, 1999.

- KÄHKÖNEN, M. P.; HOPIA, A. I.; VUORELA, H. J.; RAUHA, J.; PIHLAJA, K.; KUJALA, T. S.; HEINONEN, M.. Antioxidant Activity of Plant Extracts Containing Phenolic Compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, pp. 3954-3962, 1999.
- KANT, A. K.; SCHATZKIN, A.; GRAUBARD, B. I.; SCHAIRER, C. A prospective study of diet quality and mortality in women. **Journal of American Medical Association**, v. 283, pp. 2109 – 2115, 2000.
- KERMASHA, S.; BARTHAKUR, N. N.; ALLI, I.; MOHAN, N. K.. Changes in chemical composition of the new cultivars of pineapple fruit during development. **Journal of Science and Food Agriculture**, v. 39 (3), pp. 17 – 24, 1987.
- KILARA, A.; VAN BUREN, J. P.. Clarification of apple juice. In D. L. Downing, **Processed apple products**. New York: Van Nostrand Reinhold, pp. 54 – 76, 1989.
- KOSEOGLU, S. S.; LAWHON, J. T.; LUSAS, E. W.. Use of membranes in citrus juice processing. **Food Technology**, v.44, n.12, pp.90 – 97, 1990.
- KUNZ, W.; BENABILES, A.; BEN-AIM, R.. Osmotic evaporation through macroporous hydrophobic membranes: a survey of current research and applications. **Journal of Membrane Science**, v. 121, pp. 25 – 36, 1996.
- LEA, A. G. J. Apple juice. In D. Hicks, **Production and packaging of noncarbonated fruit juices and fruit beverages** New York: Blackie and Son. pp. 182 – 225, 1990.
- MacFIE, H.J.; BRATCHELL, N.; GREENHOFF, K.& VALLIS, L.V.; Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, n.4, pp.129 – 148, 1989.
- MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S.. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9ª edição, São Paulo, ROCA, 1998.
- MATTA, V. M.; MORETTI, R. H.; CABRAL, L. M. C.. Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. **Journal of Food Engineering**. V. 61, pp. 477 – 482, 2004.

- MATSUURA, T.; BAXTER, A. G.; SOURIRAJAN, S.. Concentration of fruit juices by reverse osmosis during porous cellulose acetate membranes. **Acta Alimentaria**, v.2, n.2, 1973.
- MEDINA, B. G. & GARCIA, A. Concentration of orange juice by reverse osmosis. **Journal Food of Process Engineering**, v.10, n.3, pp..217–230, 1988.
- MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E.W.; DE MARTIN, Z.J.; SOUZA JÚNIOR, A.J.; LARA, J.C.C. de; HASHIZUME, T.; MORETTI, V.A.; MARQUES, J.F. **Abacaxi: da cultura ao processamento e comercialização**. São Paulo: ITAL, 1978. 200p. (ITAL. Série Frutas tropicais, 2)
- MEILGAARD, M; CIVILLE,G.V& CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques** . 2<sup>nd</sup>, New York: CRC Press, 1991.
- MERLO, C. A.; PEDERSEN, L. D.; ROSE, W. W.. **Hyperfiltration/Reverse Osmosis, A Handbook on Membrane Filtration for the Food Industry**, U.S. Department of Energy, DOE/CE/40691-1, 1985.
- MERSON, R. L.; MORGAN, A. I. Juice concentration by reverse osmosis. **Food Technology**, v. 22, 631, 1968.
- MORGADO, I. F.; AQUINO, C. N. P.; TERRA, D. C. T.. Aspectos econômicos da cultura do abacaxi: sazonalidade de preços no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.26, n.1, p.44-47, Abril 2004.
- MULDER, M.. **Basic principles of membrane technology**. Kluwer Academic Publishers, 1991.
- NASCENTE, A.S.; COSTA, R. S. C.; COSTA, J. N. M.. Cultivo do abacaxi em Rondônia. **Versão eletrônica**. Dezembro de 2005. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Abacaxi/CultivodoAbacaxiRO/>>, acesso em 19 jan. 2008.
- PALMIERI, L.; DALLA ROSA, M.; DALL'AGLIO, G.; CARPI, G. D.. Production of kiwifruit concentrate by reverse osmosis process. **Acta Horticulturae**, 282, pp.435 – 439, 1990.
- PAULSON, D. J.; WILSON, R. L.; SPATZ, D. D.. Reverse osmosis and ultrafiltration applied to the processing of fruit juice. In S. Sourirajan, & T. Matsuura (Eds.), **Reverse osmosis and Ultrafiltration** (pp. 325–344). ACS Symposium Series: Washington, DC., 1985.

- PEPPER, D.. Reverse Osmosis for improved products in the food and chemical industries and water treatment. **Desalination**, v.77, n.1, pp.55 – 71, 1990.
- REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. S.; CABRAL, J. R. S.. **Abacaxi: produção, aspectos técnicos**. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília – DF, 2000.
- RODRIGUES, R. B.; MENEZES, H. C.; CABRAL, L. M. C.; DORNIER, M.; RIOS, G.M.; REYNES, M.. Evaluation of reverse osmosis and osmotic evaporation to concentrate camu-camu juice (*Myrciaria dubia*). **Journal of Food Engineering**, v. 63, pp. 97 – 102, 2004.
- ROSENTHAL, A.; MATTA, V. M. da; CABRAL, L. M. C.; FURTADO, A. A. L.. Processo de produção. In: INICIANDO um pequeno grande negócio agroindustrial: polpa e suco de frutas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 123 p.
- RUGGIERO, C. et al. **Controle integrado da fusariose do abacaxizeiro**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 81p.
- SA, I.S; CABRAL, L.M.C.; MATTA, V.M. Concentração de suco de abacaxi através dos processos com membranas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.1, pp.53 – 62, jan./jun., 2003.
- SANTANA, L.L.A; REINHARDT, D.H.; CUNHA, G.A.P.; CALDAS, R.C..Altas densidades de plantio do abacaxi cv Smooth Cayenne, sob condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 353-358, agosto 2001.
- SHEU, M. J. & WILEY, R. C. Preconcentration of apple juice by reverse osmosis. **Journal of Food Science**, v.48, n.2, pp.422 – 429, 1983.
- SILVA, F.T.; JARDINE, J.G e MATTA, V.M.. Concentração de suco de laranja (*Citrus sinensis*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.18, n.01, pp.99 – 104,1998.
- SINGLETON V.L., ROSSI J.A.. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, 16, pp. 144 –158, 1965
- SINGLETON, V. L. & GORTNER, W. A. Chemical and physical development of the pineapple fruit. II. Carbohydrate and acid constituents. **Journal of Food Science**, v.30, pp. 19 – 23, 1965.

- SINGLETON, V. L. Chemical and physical development of the pineapple fruit. I. Weight per fruitlet and other physical attributes. **Journal of Food Science**, v.30, pp. 98 – 104, 1965.
  
- SOARES, L.M.V; SHISHIDO, K.; MORAES, A.M.M.. Composição mineral de sucos concentrados de frutas brasileiras. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.2, pp.202 – 206, abril-junho, 2004.
  
- SONG, L.F. Thermodynamic modeling of solute transport through reverse osmosis membrane. **Chemical Engineering Communication**, v.180, pp. 145 – 167, 2000.
  
- SUN, J.; CHU, Y. -F.; WU, X.; LIU, R. H.. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, pp. 7449 – 7454, 2002.
  
- TEIXEIRA, L.A.J; SPIRONELLO, A.; FURLANI, P.R.; SIGRIST, J.M.M.. Parcelamento da adubação NPK em abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 24, n.1, pp. 219 – 224, 2002.
  
- TODISCO, S.; TALLARICO, P., & DRIOLI, E. Modelling and analyses of the effects of ultrafiltration on the quality of freshly squeezed orange juice. **Italian Food and Beverage Technology XII**, Maio, pp. 3 – 8, 1998.
  
- VINSON, J. A.; DABBAGH, Y. A.; SERRY, M. M.; JANG, J. Plant flavonoids, especially tea flavonols, are powerful antioxidants using an in vitro oxidation model for heart disease. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.43, pp. 2800 – 2802, 1995.
  
- VINSON, J. A.; SU, X.; ZUBIK, L; BOSE, P .Phenol Antioxidant Quantity and Quality in Foods: Fruits. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.49, pp. 5315 – 5321, 2001.
  
- WILLIAMS, M. H.. **Nutrição para saúde, condicionamento físico e desempenho esportivo**. 5ª edição, São Paulo, MANOLE, 2002.
  
- WU, M. L.; ZALL, R. R.; TZENG, W. C. Microfiltration and ultrafiltration comparison of apple juices clarification. **Journal of Food Science**, v.55, n. 4, pp.1162 – 1163, 1990.

## ANEXO A

Gráfico de pareto de efeitos estandarizados; variável: Acidez  
2 fatores e dois níveis; MS erro= ,00195  
CV: acidez

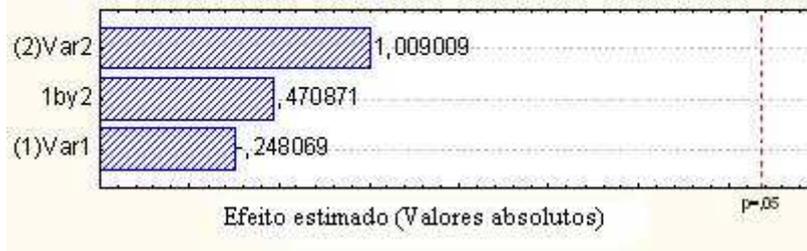


Gráfico de pareto relativo ao parâmetro de acidez  
Var 1: Pressão e Var 2: Temperatura

Gráfico de pareto de efeitos estandarizados; variável: s.solúveis  
2 fatores e dois níveis; MS erro = ,1881556  
DV: s.solúveis



Gráfico de pareto relativo ao parâmetro de sólidos solúveis  
Var 1: Pressão e Var 2: Temperatura

Gráfico de pareto de efeitos estandarizados; variável: fenólicos  
2 fatores e dois níveis; MS erro = 11,02591  
DV: fenólicos

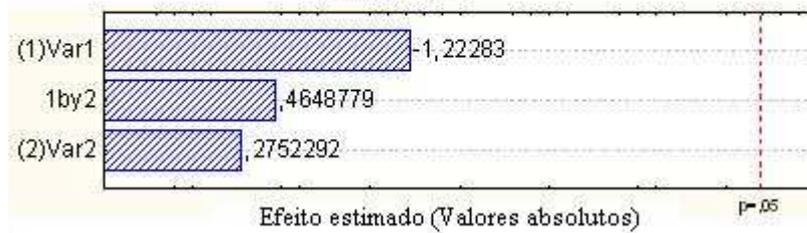


Gráfico de pareto relativo ao parâmetro de compostos fenólicos totais  
Var 1: Pressão e Var 2: Temperatura

## ANEXO B

1 - Modelo de ficha para teste de preferência de suco de abacaxi.



Nome: \_\_\_\_\_

Amostra: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra de suco de abacaxi. Por favor, marque na escala abaixo o quanto você gostou do produto.

|                           |                          |                            |                           |                                |                          |                          |                          |                          |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Desgostei<br>extremamente | Desgostei<br>muito       | Desgostei<br>moderadamente | Desgostei<br>ligeiramente | Não gostei<br>nem<br>desgostei | Gostei<br>ligeiramente   | Gostei<br>moderadamente  | Gostei<br>muito          | Gostei<br>extremamente   |

Você compraria este produto?

|                                  |                          |                          |  |                          |                          |                          |                              |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/>         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>     |
| Definitivamente<br>não compraria |                          |                          | Talvez comprasse<br>talvez não comprasse |                          |                          |                          | Definitivamente<br>compraria |

Comentários: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2 - Modelo de ficha para teste de diluição ideal.



Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Amostra: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra de suco de abacaxi. Por favor, marque na escala abaixo o que você achou do produto em relação à **diluição**:

|                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| Muito<br>ralo            |                          |                          |                          | Ideal                    |                          |                          |                          | Muito<br>concentrado     |

3 - Modelo de ficha para avaliação de doçura ideal.



Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Amostra: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra de suco de abacaxi. Por favor, marque na escala abaixo o que você achou do produto em relação à **doçura**:

|                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| Pouco<br>doce            |                          |                          |                          | Ideal                    |                          |                          |                          | Muito<br>doce            |

## ANEXO C

Perfil dos participantes do teste de preferência e intenção de compra do planejamento experimental.

|                                 |                   | N° total (84) | (%)   |
|---------------------------------|-------------------|---------------|-------|
| <b>Sexo</b>                     | Feminino          | 39            | 46,42 |
|                                 | Masculino         | 45            | 53,57 |
| <b>Idade</b>                    | 18 – 24 anos      | 24            | 28,57 |
|                                 | 25 – 35 anos      | 25            | 29,76 |
|                                 | 36 – 45 anos      | 14            | 16,66 |
|                                 | 46 – 60 anos      | 19            | 22,61 |
|                                 | Mais que 60 anos  | 2             | 2,38  |
| <b>Renda (salários mínimos)</b> | 1 – 5             | 23            | 27,38 |
|                                 | Maior que 5 – 10  | 23            | 27,38 |
|                                 | Maior que 10 – 20 | 20            | 23,80 |
|                                 | Maior que 20 – 30 | 13            | 15,47 |
|                                 | Maior que 30      | 5             | 5,95  |

Perfil dos participantes do teste de preferência e intenção de compra ente sucos concentrado por osmose inversa e marcas comerciais.

|                                 |                   | N° total | (%)   |
|---------------------------------|-------------------|----------|-------|
| <b>Sexo</b>                     | Feminino          | 41       | 51,90 |
|                                 | Masculino         | 38       | 48,10 |
| <b>Idade</b>                    | 18 – 24 anos      | 17       | 21,52 |
|                                 | 25 – 35 anos      | 34       | 43,04 |
|                                 | 36 – 45 anos      | 12       | 15,19 |
|                                 | 46 – 60 anos      | 15       | 18,99 |
|                                 | Mais que 60 anos  | 1        | 1,27  |
| <b>Renda (salários mínimos)</b> | 1 – 5             | 25       | 31,65 |
|                                 | Maior que 5 – 10  | 20       | 25,32 |
|                                 | Maior que 10 – 20 | 23       | 29,11 |
|                                 | Maior que 20 – 30 | 8        | 10,13 |
|                                 | Maior que 30      | 3        | 3,80  |