

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

**PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA E COM MEMBRANAS DO
CALDO DE CANA ADICIONADO DE SUCO DE MARACUJÁ**

KATIA REZZADORI

Engenheira de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Cunha Petrus

Co-orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Petrus

Florianópolis - SC
2010

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

**PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA E COM MEMBRANAS DE
CALDO DE CANA ADICIONADO DE SUCO DE MARACUJÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Cunha Petrus
Co-orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Petrus

KATIA REZZADORI
Engenheira de Alimentos

Florianópolis - SC
Abril, 2010

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder uma vida tão repleta de bênçãos e realizações.

Ao meu orientador Prof. Dr. José C.C. Petrus pela orientação, incentivo, confiança e contribuições para este trabalho.

À Universidade de São Paulo (USP), Campus Pirassununga, em especial ao Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Petrus pela acolhida, auxílio e disponibilidade no desenvolvimento dos experimentos.

Aos membros da banca examinadora, pelo aceite e contribuições indispensáveis a este trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos e à Universidade Federal de Santa Catarina.

A CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos meus pais, Leonir e Nair, meu irmão Tiago, por tanta força, carinho, dedicação e esforço e por sempre terem feito da nossa família a razão de suas existências.

A minha segunda família, meus tios e padrinhos Diomário e Rosa, por me adotarem, me dedicando tempo, carinho e atenção; e acima de tudo me apoiando e incentivando em todos os momentos.

Ao Sérgio, que foi essencial para a conclusão deste trabalho. Obrigada pelo amor, compreensão, incentivo e paciência.

Aos companheiros de laboratório Silvia, Léo, Claudimir e Julia, pelo apoio nos experimentos, pela amizade e companhia, contribuições com idéias e ajuda, pela boa convivência que me permitiu desenvolver o trabalho com maior dedicação..

Aos amigos da pós-graduação (Daniela, Marta, Natália, Patrícia, Silvia, Suzana) por tantos bons momentos juntas, principalmente nos eventos noturnos e gastronômicos!

A minha amiga Janaína pela boa companhia durante um ano de convivência, pela ajuda, amizade e companheirismo.

Aos amigos do Rio Grande do Sul os quais fazem muita falta e que o espaço aqui impossibilita mencioná-los um por um.

A amiga Thalita pela hospedagem e carinho; ao Felipe pela boa vontade e descontração durante minha estada em Pirassununga/SP.

A todos aqueles que realmente torceram e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

*“Um pouco de ciência nos afasta de Deus.
Muito, nos aproxima.” (Louis Pasteur)*

SUMÁRIO

Introdução	15
Capítulo 1 – Revisão bibliográfica	19
1.1 Cana-de-açúcar	21
1.1.1 Caldo de cana	22
1.2 Processos de Separação com Membranas (PSM)	25
1.2.1 Fenômenos que limitam o fluxo do processo	28
1.2.2 Curva do fluxo de permeado	30
1.2.3 Resistências ao fluxo permeado	31
1.2.4 Modelo matemático de Constenla e Lozano (1997)	32
1.2.5 Aplicação dos PSM no processamento de sucos	33
1.3 Pasteurização	35
1.4 Processamento asséptico	38
1.5 Análise sensorial de alimentos	39
1.6 Reologia	40
1.7 Análise de cor	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
Capítulo 2 – Microfiltração de caldo de cana adicionado de polpa de maracujá	61
RESUMO	63
1 INTRODUÇÃO	67
2 MATERIAL E MÉTODOS	68
2.1 Material	68
2.2 Preparo da bebida	69
2.3 Microfiltração (MF)	69
2.3.1 Estudo dos parâmetros operacionais	70
2.3.2 Cálculo do fluxo permeado (J)	71
2.3.3 Procedimento experimental	71
2.3.4 Limpeza da membrana	72
2.3.5 Cálculo das resistências	73
2.3.6 Ajuste ao modelo de Constenla e Lozano (1997)	74
2.4 Análises físico-químicas	74
2.5 Análises microbiológicas	75
2.6 Análise reológica	75
2.7 Análise de cor	76
2.8 Análise dos resultados	76

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
3.1 Microfiltração	76
3.2 Efeito dos parâmetros operacionais no fluxo permeado final (J_f)	79
3.3 Limpeza das membranas	88
3.4 Determinação das resistências ao fluxo de massa	91
3.5 Ajuste ao modelo matemático de Contenna e Lozano (1997)	94
3.6 Análises físico-químicas	97
3.7 Análises microbiológicas	100
3.8 Análise Reológica	102
3.9 Análise de cor	107
CONCLUSÃO	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

Capítulo 3 – Efeitos da pasteurização e da microfiltração nas características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais de caldo de cana 123

RESUMO	125
1 INTRODUÇÃO	129
2 MATERIAL E MÉTODOS	130
2.1 Matéria-prima	130
2.2 Preparo da bebida	131
2.3 Microfiltração (MF)	131
2.4 Pasteurização	131
2.4.1 Envase asséptico	132
2.5 Análises microbiológicas	132
2.6 Análises físico-químicas	132
2.7 Análise reológica	133
2.8 Análise sensorial	133
2.9 Análise dos resultados	134
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	134
3.1 Análises microbiológicas	134
3.2 Análises físico-químicas	136
3.3 Análise reológica	139
3.4 Análise sensorial	145
CONCLUSÃO	148
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151

Anexo 159

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1	Representação de um módulo de microfiltração com a definição das correntes de permeado e retentado.	25
Figura 2	Classificação dos Processos de Separação com Membranas quanto a sua seletividade.	27
Figura 3	Esquema ilustrativo da filtração convencional (a) e tangencial (b).	28
Figura 4	Vários tipos de resistências para o transporte de massa através da membrana em processos de pressão dirigida.	29
Figura 5	Estágios do declínio do fluxo de permeado com o tempo.	30
Figura 6	Curva de fluxo de alguns tipos de fluidos (a) independentes do tempo e (b) dependentes do tempo.	42
Figura 7	Diagrama representando o espaço de cores CIELAB.	45

Capítulo 2

Figura 1	Fotografia da unidade piloto de microfiltração utilizado nos experimentos.	69
Figura 2	(a) Fluxograma do Procedimento 1 - Limpeza com NaOH (1 %), NaClO (200 ppm) e H ₃ PO ₄ (200 ppm); (b) Fluxograma do Procedimento 2 - Limpeza com DE (1 %), NaClO (200 ppm) e H ₃ PO ₄ (200 ppm)	72
Figura 3	Comportamento do fluxo do permeado (<i>J</i>) durante a microfiltração de caldo de cana adicionado de polpa de maracujá (a) para os ensaios 1 a 8; (b) para os ensaios 9 a 17.	77
Figura 4	Gráfico de Pareto indicando os efeitos significativos dos parâmetros avaliados durante a microfiltração do caldo de cana ($p < 0,05$).	81
Figura 5	Distribuição dos dados (valores) preditos pelo modelo (-) e aqueles observados no experimento (o).	85
Figura 6	(a) superfície de resposta - influência dos fatores (temperatura e velocidade) na MF de caldo de cana acidificado; (b) vista superior.	87

Figura 7	(a) Recuperação de fluxo após cada etapa de limpeza para o Procedimento 1 [NaOH (1%), NaClO (200ppm) e H ₃ PO ₄ (200ppm)]; (b) Recuperação de fluxo após cada etapa de limpeza para o Procedimento 2 [DE (1,5%), NaClO (200ppm) e H ₃ PO ₄ (200ppm)].	89
Figura 8	Porcentagem da influência da R_p , R_M e R_F ao fluxo de massa durante a microfiltração de caldo de cana acidificado.	91
Figura 9	Ajuste da curva de fluxo de permeado ao modelo de: Constenla e Lozano (1997) para o experimento 1 [dados experimentais (o), valores calculados (-)].	97
Figura 10	Relação da viscosidade aparente versus taxa de deformação nas temperaturas de 10, 15, 25, 35, 45 e 55 °C, para o (a) caldo de cana <i>in natura</i> ; (b) caldo de cana acidificado <i>in natura</i> e (c) caldo de cana microfiltrado.	104
Figura 11	Ilustração da alimentação (caldo acidificado), permeado e retentado obtidos após a microfiltração de caldo de cana adicionado de polpa de maracujá.	107

Capítulo 3

Figura 1	Comportamento reológico do (a) caldo de cana pasteurizado P1 (90 °C/30 s); (b) caldo de cana pasteurizado P2 (95 °C/30 s) e (c) caldo de cana microfiltrado nas diferentes temperaturas estudadas.	140
Figura 2	Representação gráfica do ajuste aos modelos de Newton e da Lei da Potência para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para: (a) o caldo microfiltrado, (b) caldo pasteurizado P1 e (c) caldo pasteurizado P2 na temperatura de 10 °C	144
Figura 3	Distribuição das notas quanto ao atributo intenção de consumo para o caldo acidificado <i>in natura</i> , bebida microfiltrada, bebida pasteurizada P1 e bebida pasteurizada P2.	147

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1	Composição físico-química média da cana-de-açúcar.	22
----------	--	----

Capítulo 2

Tabela 1	Matriz do Delineamento 2^3 com variáveis codificadas.	70
Tabela 2	Codificação e valores reais das variáveis utilizadas no Delineamento Central Composto Rotacional 2^3 .	71
Tabela 3	Delineamento experimental 2^3 com os valores reais e codificados das variáveis independentes e os valores obtidos para o fluxo inicial (J_i) e a resposta fluxo final (J_f).	79
Tabela 4	Análise de Variância (ANOVA) para as variáveis estudadas.	84
Tabela 5	Análise de variância (ANOVA) para a resposta J_f .	86
Tabela 6	Procedimentos de limpeza da membrana e permeabilidade hidráulica antes (J_{wi}) e depois (J_{wfl}) do experimento, e após a limpeza (J_{WL}).	88
Tabela 7	Valores de resistências ao fluxo de permeado e porcentagem da resistência da membrana (R_M), resistência do <i>fouling</i> (R_F) e resistência da polarização da concentração e camada gel (R_P) em relação à resistência total (R_T) obtido através do modelo de resistências em série.	92
Tabela 8	Valores dos parâmetros da taxa de declínio de fluxo “ λ ” e do coeficiente de determinação (R^2) para o ajuste ao modelo de Constenla e Lozano (1997) na MF de caldo de cana acidificado.	95
Tabela 9	Características físico-químicas obtidas para o caldo de cana <i>in natura</i> , caldo de cana acidificado e caldo de cana acidificado microfiltrado.	98
Tabela 10	Características microbiológicas do caldo de cana acidificado antes e após o processo de microfiltração.	101
Tabela 11	Parâmetros reológicos obtidos para o caldo de cana <i>in natura</i> , caldo de cana acidificado e caldo de cana microfiltrado obtidos pelo ajuste ao modelo de Newton.	105

Tabela 12	Parâmetros reológicos obtidos para o caldo de cana <i>in natura</i> , caldo de cana acidificado <i>in natura</i> e acidificado microfiltrado obtidos pelo ajuste ao modelo da Lei da Potência.	105
Tabela 13	Resultados para os parâmetros de cor L*, a* e b* obtidos para a alimentação (caldo acidificado), retentado e microfiltrado.	108

Capítulo 3

Tabela 1	Características microbiológicas do caldo de cana acidificado antes e após a microfiltração e pasteurização térmica.	134
Tabela 2	Características físico-químicas da polpa de maracujá, caldo de cana puro e acidificado e da bebida microfiltrada e pasteurizada.	136
Tabela 3	Parâmetros reológicos da bebida microfiltrada e pasteurizada (P1 e P2) obtidos pelo ajuste ao modelo de Newton.	141
Tabela 4	Parâmetros reológicos da bebida microfiltrada e pasteurizada (P1 e P2), obtidos pelo ajuste ao modelo Lei da Potência.	142
Tabela 5	Análise sensorial do caldo de cana acidificado, da bebida microfiltrada e pasteurizada (P1 e P2) com a média de notas e índice de aceitabilidade para os atributos aparência, aroma, sabor, impressão global e intenção de consumo.	145

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma matéria-prima de grande versatilidade e viabilidade econômica. Seu êxito produtivo justifica-se pela fácil adaptação ao clima e solo brasileiros, sendo cultivada em todo território nacional (DEMATTÊ, 2004). A produção brasileira de cana-de-açúcar em 2009 foi de aproximadamente 613 milhões de toneladas, caracterizando essa cultura como uma das principais atividades econômicas do país, tanto em termos de balança comercial, como na geração de empregos (CONAB, 2010). A região produtora de maior destaque no Brasil é a Centro-Sul-Sudeste, com mais de 85% da produção, e o maior produtor nacional é o Estado de São Paulo, com cerca de 60% da produção (CARVALHO, 2007).

O caldo de cana ou garapa é um dos derivados da cana-de-açúcar, caracterizado como uma bebida saborosa e energética que conserva todos os nutrientes presentes na cana-de-açúcar (BRAZ, 2003). De acordo com Soccol et al. (1990), o mercado de caldo de cana atual é caracterizado pela venda através de ambulantes, quase sempre sem as mínimas condições higiênico-sanitárias necessárias à manipulação de alimentos.

Neste contexto, a industrialização do caldo de cana vem a ser uma alternativa bastante interessante para a indústria de alimentos, devido a não existência conhecida deste produto no mercado nacional. Aliado a isto, é cada vez maior a busca dos consumidores por produtos saudáveis e seguros em virtude do ritmo vida intenso e consequente redução no tempo dispensado às refeições. A procura por produtos de qualidade tem levado a indústria de alimentos a desenvolver e aprimorar produtos nutritivos, sem conservantes químicos e com atributos sensoriais que sejam agradáveis aos consumidores.

A tecnologia dos obstáculos ou dos processos combinados é um conceito amplamente empregado no processamento de alimentos. Consiste em um conjunto de técnicas aplicadas simultaneamente visando a estabilização bioquímica e microbiológica do produto em escala industrial (LEISTNER, 1987; CHIRIFE; FAVETTO, 1992). Os métodos tradicionais de conservação de alimentos (decréscimo no pH, tratamento térmico brando, envase asséptico, entre outros) são aplicados de forma branda, porém em sinergismo, fazendo com que cada um atue sobre um determinado fator de deterioração e de perda de qualidade durante a estocagem (LEVI; GAGEL; JUVEN, 1985; WELTI-

CHANES; VERGARA-BALDERAS; LOPEZ-MALO, 2000). A atuação sinérgica desses fatores amplia a estabilidade e, conseqüentemente, a qualidade do alimento, tornando-o inócuo à saúde do consumidor (SENAI/SEBRAE, 1999).

Como alternativa aos métodos tradicionais de conservação, os Processos de Separação por Membranas (PSM) possibilitam a eliminação de etapas da clarificação convencional, não requerem a utilização de calor, mudança de fase ou pH e agentes químicos. Assim separações envolvendo compostos termolábeis, como proteínas e vitaminas são favorecidas, preservando as propriedades organolépticas e nutricionais do produto fresco (ausência de sabor cozido) importantes para a qualidade final do produto (CARNEIRO et al., 2002, CASSANO; MARCHIO; DRIOLI, 2007). Além disso, PSM são sistemas compactos e de fácil “*scale-up*”, apresentam a possibilidade de emprego em sistemas contínuos e podem ser combinados com outros processos de separação (KELLY et al., 2000).

Pesquisas realizadas desde 1970 têm mostrado que a microfiltração (MF), a ultrafiltração (UF) e a osmose reversa (OR) podem ser usadas com sucesso para substituir os processos térmicos, sendo que a MF, por empregar baixas temperaturas (menor que 50 °C), (ECKNER; ZOTTOLA, 1991) pode ser chamada de “pasteurização a frio” (HONER, 1991) e pode ser empregada comercialmente para a remoção de microrganismos (VAN DER HORST; HANEMAAIJER, 1990). A remoção de bactérias pela MF resulta em um permeado com baixa contagem bacteriana, podendo variar entre 97 % a 99 %. Além disso, atribuem também à MF uma redução de 90 % e 95 % de esporos presentes em sucos (SABOYA; MAUBOIS, 2000).

Devido ao Brasil ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e ao grande potencial mercadológico dos sucos de frutas industrializados, o consumo de caldo de cana poderia ser melhor explorado se o seu grau de conveniência e qualidade higiênico-sanitária fosse ampliado aos consumidores, ou seja, se ele pudesse ser comercializado processado, embalado, pronto para o consumo, facilitando sua utilização em redes de alimentação e aumentando sua vida útil. Portanto, este trabalho, na forma de capítulos, apresentou os seguintes objetivos:

- (a) Capítulo 1 – levantamento bibliográfico abordando os principais temas envolvidos no trabalho: cana-de-açúcar, caldo de cana, processos de separação com membranas, processamento térmico, análise reológica, análise sensorial e análise de cor.

(b) Capítulo 2 – avaliação dos efeitos dos parâmetros operacionais pressão transmembrana (Pt), temperatura (T) e velocidade tangencial (Vt) no fluxo de permeado final (J_f) durante a microfiltração do caldo de cana adicionado de polpa de maracujá; além disso, foram determinadas as resistências ao fluxo de massa e realizada a modelagem da curva do fluxo permeado. O caldo de cana acidificado (alimentação) e o microfiltrado foram avaliados quanto às suas propriedades físico-químicas, microbiológicas, quanto ao perfil reológico e à análise instrumental de cor.

(c) Capítulo 3 – Estudo comparativo das características físico-químicas, microbiológicas, reológicas e sensoriais do caldo de cana-de-açúcar adicionado de polpa de maracujá submetido ao processo de microfiltração e ao processo térmico (pasteurização).

CAPÍTULO 1

Revisão bibliográfica

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta semiperene, pertencente ao gênero *Saccharum L.*, da família das gramíneas, composta de espécies de gramas altas perenes, oriundas de regiões temperadas quentes a tropicais da Ásia, especialmente da Índia (SEABRA, 2008).

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar é um importante fator socioeconômico desde sua introdução nos primeiros séculos após o descobrimento até os dias atuais. A produção brasileira de cana-de-açúcar em 2009 foi de aproximadamente 613 milhões de toneladas, caracterizando essa cultura como uma das principais atividades econômicas do país, tanto em termos de balança comercial, como na geração de empregos. Desse total, 276 milhões de toneladas foram destinadas a produção de açúcar e 336 milhões para a industrialização de álcool. O restante da produção foi destinado para outros fins, como a fabricação de cachaça, rum, vodka, caldo de cana, rapadura e ração animal (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2009). A região produtora de maior destaque no Brasil é a Centro-Sul-Sudeste, com mais de 85 % da produção nacional, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor nacional (60 % do total) (CARVALHO, 2007).

Segundo Stupiello (1987), a cana-de-açúcar como matéria-prima é caracterizada como colmos em estágio adiantado de maturação, sadios, recém-cortados, normalmente despontados e livres de matéria estranha. Sua composição química é muito variável, em função das condições climáticas, das propriedades físicas, químicas e microbiologias do solo, tipo de cultivo, da variedade, do estágio de maturação e da idade, bem como de muitos outros fatores.

A cana-de-açúcar dá origem a uma diversificada gama de produtos. Dentre estes se destacam os produtos tradicionais: açúcar, caldo de cana, melaço, aguardente, bagaço, vinhaça, bioetanol, etc., enquanto a lista dos novos produtos, numerosa e variada, inclui desde realçadores de sabor para a indústria de alimentos até plástico para embalagens (IEL/SEBRAE, 2005).

1.1.1 Caldo de cana

Além da produção de açúcar, álcool e aguardente, a cana-de-açúcar é muito utilizada para a produção de garapa (caldo de cana), muito apreciada pelo consumidor brasileiro. O caldo de cana é uma bebida energética (rica em carboidratos), não alcoólica, que possui sabor agradável, sendo muito popular no Brasil devido às suas características de refrescância e sabor doce, sendo consumida por pessoas de todas as idades e classes sociais, especialmente nos períodos mais quentes do ano (LUBATTI, 1999; OLIVEIRA et al., 2006^a).

O caldo é obtido pela moagem da cana-de-açúcar em moendas elétricas ou manuais, filtrado em peneiras metálicas e servido com gelo, podendo ser consumido puro ou adicionado de suco de frutas ácidas, sendo normalmente comercializado por vendedores ambulantes em vias públicas, parques, praças e feiras (PRATI; MORETTI; CARDELLO, 2005). Esta bebida é caracterizada como um líquido opaco, de coloração que varia de parda ao verde escuro, cuja composição química é variável em função da variedade, idade e sanidade da cana-de-açúcar. O líquido preserva todos os nutrientes presentes na cana, entre eles, os minerais (FAVA, 2004). A Tabela 1 apresenta a composição química do caldo de cana.

O valor nutricional da cana está diretamente ligado ao seu alto teor de açúcar (40 a 50% de açúcares na matéria seca), uma vez que o seu conteúdo protéico é extremamente baixo, o que lhe confere a característica de ser um alimento muito desbalanceado em relação a seus nutrientes. A cana é uma planta composta, em média, de 65 a 75% de água, mas seu principal componente é a sacarose, que corresponde de 70 a 91% das substâncias sólidas solúveis.

Tabela 1 Composição físico-química média da cana-de-açúcar.

Composição	Teor (%)
Água	65-75
Sólidos Solúveis	12-23
Açúcares	11-18
Fibras	8-14
Minerais (ferro, cálcio, potássio, sódio, fósforo, magnésio, vitaminas do complexo B e vitamina C)	(3 a 5)

Fonte: IBGE (1999); FAVA (2004)

De acordo com Bucheli e Robson (1994) e Qudsieh et al. (2002), o caldo de cana possui uma série de compostos coloridos, como a clorofila e compostos fenólicos, cuja presença pode determinar a coloração e a aceitabilidade do produto. Uma das alterações mais importantes que ocorre logo após a extração do caldo de cana é o seu escurecimento, relacionado com a formação de melanoidinas provenientes da reação de Maillard entre açúcares redutores e aminoácidos presentes na cana. Outras reações adversas estão relacionadas com a degradação térmica e reações de condensação de açúcares (caramelização), degradação alcalina, reação de condensação de açúcares redutores e reações oxidativas de compostos fenólicos em quinonas, quimicamente mais reativas. Os mesmos autores ainda afirmam que as reações de escurecimento enzimáticas contribuem com a maior porcentagem de formação de coloração escura no caldo de cana. A enzima de maior atividade no caldo é a polifenoloxidase, seguida da peroxidase, que é pouco ativa no caldo de cana.

O caldo de cana-de-açúcar, por conter grande quantidade de nutrientes orgânicos e inorgânicos, alta atividade de água, pH entre 5,0 e 5,5 e temperatura de 25 a 30 °C é considerado um ótimo substrato para o crescimento de uma grande flora microbiana (GALLO; CANHOS, 1991). Em função de sua rica composição química, é um meio adequado ao crescimento e desenvolvimento de microrganismos. Em 24 horas, mesmo sob refrigeração, já apresenta sinais de alteração de sabor e aparência (YUSOF; SHIAN; OSMAN, 2000). A perda de qualidade do produto é principalmente devida à sua fermentação, que resulta em um produto ácido (BHUPINDER; SHARMA; HARINDER, 1991).

Os microrganismos de importância a serem considerados em estudos envolvendo o caldo de cana são, essencialmente, aqueles oriundos do solo e de vegetais, dentre os quais se destacam os bolores, as leveduras, as bactérias lácticas e esporuladas (GALLO, 1989). No caldo extraído da cana, os microrganismos podem ser originados não só da cana como também de focos de contaminação nas moendas e em outros equipamentos (SILVA; CANHOS, 1990). Os manipuladores de alimentos assumem também importante papel ao atuarem como fonte de disseminação de microrganismos patogênicos (VANZO; AZEVEDO, 2003), sendo um grupo de relevância epidemiológica na transmissão de enteropatógenos (LOURENÇO; UCHOA; BASTOS, 2002).

Alguns trabalhos foram realizados a fim de averiguar as condições do caldo de cana comercializado. De acordo com Oliveira et al. (2006^b), durante a avaliação de 24 pontos de venda ambulante de caldo de cana na cidade de São Carlos - SP houve a constatação de que

25 % das amostras analisadas apresentavam-se em condições sanitárias insatisfatórias para consumo humano por apresentarem níveis de coliformes termotolerantes a 45 °C acima do limite máximo permitido pela Resolução RDC n° 12, de 02 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001). Entre as amostras de caldo de cana analisadas não foi detectada a presença de *Salmonella sp* nem de parasitas. Foram identificados coliformes termotolerantes a 45 °C em 31 % das análises da microbiota da superfície das mãos dos vendedores participantes da pesquisa.

Em outro estudo realizado por Oliveira et al. (2006^a) foram avaliados 70 pontos de venda de caldo de cana em seis municípios paulistas (Piracicaba, São Carlos, Rio Claro, Sumaré, Águas de São Pedro e São Paulo) através da aplicação de questionários aos garapeiros e observações nos locais de venda. Observou-se que o grupo de vendedores era formado majoritariamente por homens com escolaridade predominante do ensino fundamental e tempo de atuação variado na profissão. A maioria dos profissionais fabrica o gelo utilizado em casa com água proveniente da rede de abastecimento, promove a limpeza das mãos e moendas apenas com água, utiliza copos descartáveis para a comercialização da bebida e tem remuneração mensal superior a um salário mínimo. Mais da metade dos entrevistados (54 %) alegou desconhecer as doenças veiculadas por alimentos e a totalidade dos garapeiros afirmou ter interesse em receber orientações sobre práticas higiênico-sanitárias de manipulação de alimentos.

Na literatura são registrados alguns relatos referentes à toxinfecções alimentares envolvendo o caldo de cana. Em 1981, uma epidemia de cólera na Índia foi atribuída ao uso de gelo contaminado no consumo do caldo de cana. Em 1991 foram registrados 26 casos de doença de Chagas em Catolé do Rocha - PB causados pelo consumo do caldo contaminado por dejetos do mosquito barbeiro que continham *Trypanosoma cruzi* (SHIKANAI-YASUDA; MARCONDES; GUEDES, 1991). E em 2005, na cidade de Navegantes - SC, novamente um surto de doença de Chagas foi associado ao consumo de caldo de cana (IANNI; MADY, 2005).

O uso de frutas ácidas adicionado ao caldo de cana é bastante comum na comercialização dessa bebida. A adição de sucos de frutas ácidas em pequenas proporções ao caldo de cana, como o maracujá, tem por finalidade aprimorar a qualidade sensorial da bebida, conferindo ao produto um sabor refrescante e suavizando sua doçura, por promover alteração na relação entre o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável (ratio) (MATSUURA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2007). Além disso, a adição de ácido favorece a estabilidade microbiológica, restringindo o

desenvolvimento microbiano, e a estabilidade enzimática, inibindo a ação de enzimas, em virtude da redução do pH, e complexação do ácido cítrico do suco de fruta com o cobre, presente no sítio ativo da polifenoloxidase, responsável pelo escurecimento enzimático do caldo (PRATI et al., 2004).

O maracujá é um fruto tropical muito utilizado porque em pequenas proporções já confere seu aroma e sabor intensos, sendo desta forma vantajoso, pois no caso de outros sucos, seriam necessárias maiores quantidades dos mesmos para realçarem seu sabor (SOUZA; SANDI, 2001).

1.2 Processos de separação com membranas (PSM)

Os processos de separação por membranas (PSM) consistem na separação de dois ou mais componentes com o uso de uma barreira seletiva. As membranas podem ser definidas como uma fase permeável ou semipermeável, geralmente constituída de fina camada de sólido polimérico, que restringe a locomoção de determinadas espécies. Esta barreira, que controla o transporte de massa através de sua superfície, fornece duas correntes distintas (Figura 1): o fluido que atravessa a membrana, chamado de filtrado ou permeado, e o que permanece ao lado da alimentação que contém os solutos (ou sólidos suspensos), maiores que o tamanho dos poros da membrana, chamado de concentrado ou retentado (SCOTT, 1995; ORDÓNEZ et al., 2005).

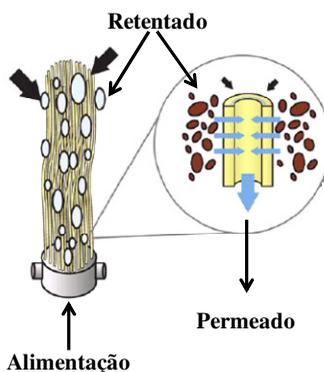


Figura 1 Representação de um módulo de microfiltração com a definição das correntes de permeado e retentado.
Fonte: Dias (2009).

Atualmente os PSM estão presentes em diversos setores: na indústria farmacêutica (MEISEL, 1998), na indústria química (VADI; RIZVI, 2001), no tratamento de águas residuárias (HABERT; BORGES; NÓBREGA, 2006), nos procedimentos médicos (hemodiálise) (SOUZA; SOARES, 1999, HABERT; BORGES, NÓBREGA, 2006), na biotecnologia (fracionamento e purificação de proteínas) (CHERYAN, 1998; HABERT; BORGES; NÓBREGA, 2006) e na indústria de alimentos (DEY et al., 2004; HABERT; BORGES; NÓBREGA, 2006). Entretanto, foi praticamente na segunda metade do século passado que os processos de separação com membranas saíram da esfera de laboratório para se tornarem operações industriais. Isso aconteceu devido a uma série de vantagens inerentes a esta tecnologia. Algumas dessas vantagens são: alta seletividade; simplicidade de aplicação, operação e escalonamento; possibilidade de separação de componentes sem a necessidade de utilização de altas temperaturas, resultando em produtos de maior qualidade, com mínimas modificações sensoriais e nutritivas; além de menor gasto energético (HABERT; BORGES; NÓBREGA, 2000; MULDER, 2000; ORDÓNEZ et al., 2005; CASSANO; DONATO; DRIOLI, 2007; GALAVERNA et al., 2008). Assim separações envolvendo compostos termolábeis, como proteínas e vitaminas são favorecidas, preservando as propriedades organolépticas e nutricionais do produto fresco (ausência sabor cozido) importantes para a qualidade final do produto (CARNEIRO et al., 2002, CASSANO; MARCHIO; DRIOLI, 2007; CARVALHO; CASTRO; SILVA, 2008; GALAVERNA et al., 2008).

Especificamente na clarificação de sucos, os PSM eliminam diversas etapas do processamento tradicional, reduzindo tempo, energia, mão-de-obra e gastos com coadjuvantes de clarificação, como gelatina e terra diatomácea (GIRARD; FUKUMOTO, 2000). Além disso, com a filtração em membranas consegue-se maior retenção de compostos responsáveis pela turbidez do suco (PETRUS, 1997) e remoção de microrganismos (DZIEZAK, 1990), gerando produtos com excelentes características.

A microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e a osmose inversa (OI) são os PSM mais utilizados na Indústria de Alimentos e apresentam, nesta sequência, a diminuição do poro (OSTERGAARD, 1989) (Figura 2). À medida que se diminui o diâmetro médio dos poros das membranas tem-se o aumento da pressão que é de 0,2 a 3,45 bar para a MF; 0,5 a 5 bar para a UF; 1,5 a 40 bar para a NF; e de 20 a 100 bar para a OI (TEIXEIRA, 2001).

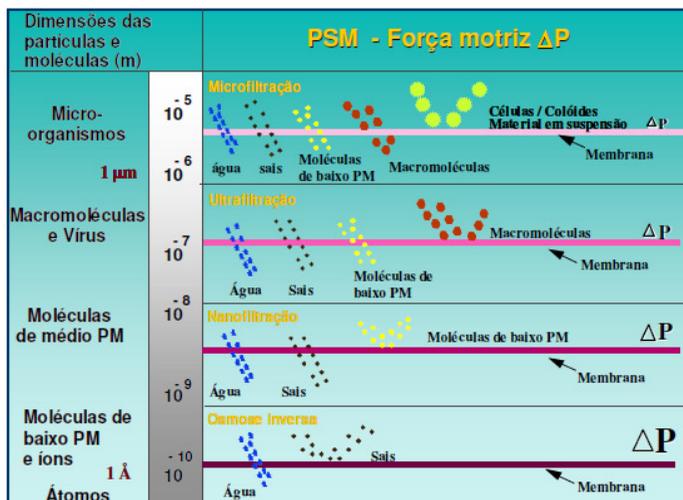


Figura 2 Classificação dos Processos de Separação com Membranas quanto a sua seletividade.

Fonte: Habert, Borges e Nóbrega (2000)

Os métodos de filtração utilizados nos processos de separação com membranas são: a convencional (*dead-end filtration*) (Figura 3a), quando um fluido esco perpendicular à superfície da membrana, apresentando um rápido acúmulo de componentes do líquido sobre a membrana, favorecendo o fenômeno chamado de polarização por concentração (JAMES; JING; CHEN, 2003); o que resulta numa diminuição considerável do fluxo de permeado e exige frequentes paradas no processamento para limpeza ou troca do filtro (DZIEZAK, 1990).

A filtração tangencial (*crossflow filtration*) (Figura 3 b) ocorre quando o escoamento do fluido é paralelo à superfície da membrana e altas velocidades possibilitam o arraste dos solutos que tendem a se acumular na superfície (CHERYAN, 1998; JAMES; JING; CHEN, 2003). Em processos de filtração tangencial, a parte da solução que não atravessa a membrana (retentado ou concentrado) é geralmente recirculada com o objetivo de extrair a maior quantidade possível de microfiltrado e/ou concentrar determinado(s) componente(s) do retentado (HABERT; BORGES; NÓBREGA, 2006). Desta forma, é possível utilizá-la para soluções cuja concentração de solutos é mais alta (RAUTENBACH; ALBRECHT, 1989), trabalhar com maior volume de matéria-prima e operar em sistemas contínuos (DZIEZAK, 1990).

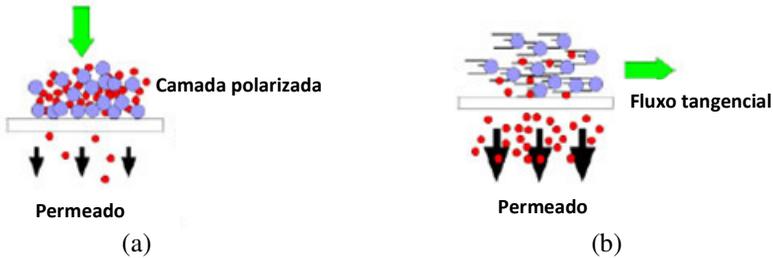
Fluxo convencional

Figura 3 Esquema ilustrativo da filtração convencional (a) e tangencial (b).

Fonte: Processo (2009)

1.2.1 Fenômenos que limitam o fluxo permeado

Durante a separação das fases, o desempenho da membrana pode mudar, apresentando um decréscimo do fluxo em função do tempo (NOBLE; STERN, 1995; SABLANI et al., 2001). Segundo Cheryan (1998), três fenômenos são conhecidos por limitarem o fluxo de permeado: polarização por concentração, camada gel polarizada e *fouling*. Todos esses fatores induzem a resistências adicionais no transporte através da membrana. A extensão desses fenômenos é fortemente dependente do tipo de processo com membrana e do fluido de alimentação empregado (NOBLE; STERN, 1995; MULDER, 2000). A Figura 4 apresenta os diferentes tipos de resistências para o transporte de massa através da membrana em processos que utilizam a pressão como força motriz.

Segundo Cheryan (1998) e Chacón-Villalobos (2006), os sólidos são arrastados para a superfície da membrana por transporte convectivo e, sendo parcialmente ou totalmente rejeitados, tendem a se concentrar na interface, formando um gradiente de concentração. A este aumento da concentração dá-se o nome de polarização por concentração. Ela é responsável pelo desvio do fluxo comparado ao fluxo de água pura, pois provoca o contra-fluxo de solutos em direção à alimentação, em virtude da difusão. Quanto maior a camada de polarização, menor será o fluxo. Nos processos de UF e MF, esse fenômeno é mais acentuado devido aos altos fluxos de solvente (ZEMAN; ZIDNEY, 1996; MULDER, 2000).

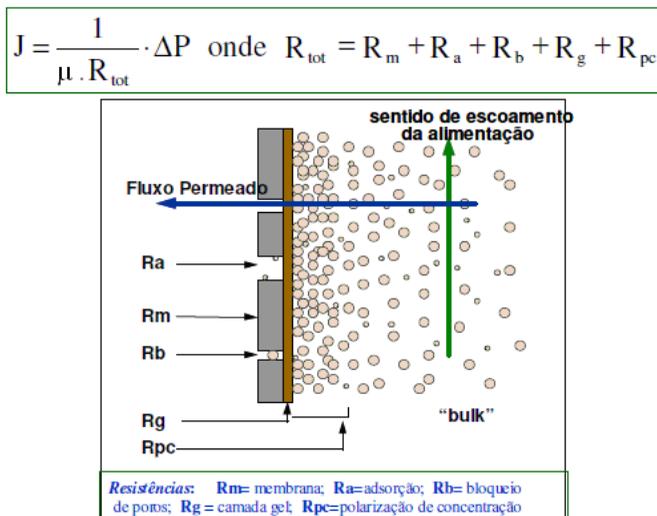


Figura 4 Vários tipos de resistências para o transporte de massa através da membrana em processos de pressão dirigida.

Fonte: Mulder (2000)

De acordo com Noble e Stern (1995) quando a concentração de partículas próximas à superfície filtrante excede seu limite de solubilidade ocorre a gelificação (formação de uma camada de gel) da solução devido à precipitação por supersaturação de macromoléculas. Esta camada, denominada camada gel polarizada, ocasiona um aumento adicional na resistência ao fluxo de permeado (TOYOMOTO; HIGUCHI, 1992).

O *fouling* ocorre quando há deposição e acúmulo de componentes da alimentação na superfície e/ou dentro dos poros da membrana de forma irreversível em relação à alteração das condições operacionais (por adsorção ou bloqueio físico dos poros). Este fenômeno está relacionado às características da membrana e interações soluto-soluto e soluto-membrana (TOYOMOTO; HIGUCHI, 1992; CHERYAN, 1998). O *fouling*, para suco de frutas, pode ser causado por pectina, taninos, proteínas, amido, hemicelulose e celulose (CARNEIRO et al., 2002). Estas alterações levam a queda de fluxo, podendo influenciar a seletividade, e frequentemente continuam a ocorrer durante o processo, causando a necessidade de operações de limpeza e substituições de membranas. Os efeitos do *fouling* no fluxo de permeado usualmente são bem similares aos efeitos de polarização de concentração. No entanto, a polarização de concentração é um fenômeno reversível e pode ser

minimizada através de mudanças no projeto do módulo e nas condições de operação. Em geral, não se pode diminuir o *fouling* modificando apenas as condições hidrodinâmicas do sistema. As mudanças causadas por este fenômeno muitas vezes podem ser contornadas por meio de retrolavagem ou limpeza química (ZEMAN; ZIDNEY, 1996; MULDER, 2000; HUISMAN; MIDDELINK; TRÄGÄRDH, 1998).

1.2.2 Curva do fluxo permeado

A curva do fluxo de permeado pelo tempo (Figura 5) pode ser descrita em três estágios, tendo sido estes caracterizados por Marshall e Daufin (1995). O primeiro estágio se define por uma queda brusca do fluxo nos primeiros minutos consequente à polarização dos solutos por concentração. Nesse estágio, a perda do fluxo é reversível, podendo ser contornada através de mudanças nas condições operacionais.

Após o declínio brusco inicial, o fluxo de permeado continua a cair devido ao *fouling* (estágio II), ocorrendo a precipitação de solutos acumulados, bloqueio dos poros e adsorção de componentes ao material da membrana. A perda do fluxo pela incrustação é geralmente irreversível.

O estágio III é a consolidação do *fouling*, que ocorre em estado quase estacionário, ou seja, o declínio do fluxo é bastante lento. Este último estágio é caracterizado pela deposição de partículas na superfície da membrana e consolidação do *fouling*.

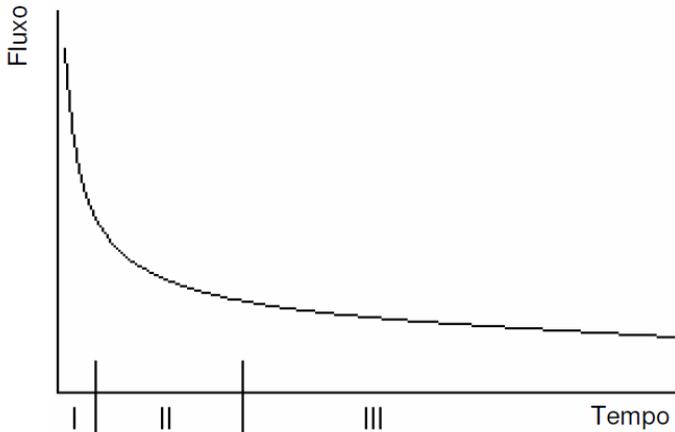


Figura 5 Estágios do declínio do fluxo de permeado com o tempo.
Fonte: Marshall e Daufin (1995).

1.2.3. Resistências ao fluxo de permeado

Como visto anteriormente, as principais causas da diminuição do fluxo no processo de MF são: a polarização por concentração, a camada gel polarizada e o *fouling*. Assim, é de grande importância o estudo dos fenômenos limitantes do fluxo de permeado. De acordo com Cheryan (1998), o fluxo de permeado pode ser relacionado com um termo que caracteriza a membrana, denominado coeficiente de permeabilidade da membrana (A), multiplicado pela pressão transmembrana (P_T) e o inverso da viscosidade do fluido (μ).

$$J = \frac{A \cdot P_T}{\mu} \quad (1)$$

Utilizando a água como a alimentação e considerando o coeficiente “ A ” como o inverso da resistência da membrana (R_M), tem-se a Equação (2).

$$J_w = \frac{P_T}{\mu_w R_M} \quad (2)$$

Onde: R_M é a resistência da membrana, J_w é o fluxo obtido com água e μ_w é a viscosidade da água.

Quando uma solução multicomponente é processada, outros mecanismos surgem e a resistência da membrana passa a ser apenas uma parcela da resistência total. A Equação (2) pode ser aproximada por uma resistência efetiva total (R_T) que considera todos os efeitos resistivos em um somatório de componentes (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

$$J = \frac{P_T}{\mu(R_M + R_F + R_P)} \quad (3)$$

Onde: R_F é a resistência devido ao *fouling*; R_P é a resistência devido à camada gel polarizada e à polarização por concentração e μ é a viscosidade do permeado.

Denominando a soma das resistências como uma única resistência total R_T , tem-se a Equação (4).

$$J = \frac{P_T}{\mu \cdot R_T} \quad (4)$$

1.2.4 Modelo matemático de Constenla e Lozano (1997)

Os projetos e aplicações de processos de separação com membranas dependem do desenvolvimento de modelos preditivos, que relacionam as variáveis de processo com os parâmetros do sistema. Como variável crítica do processo, o fluxo de permeado (J) representa o parâmetro mais interessante para avaliar o desempenho do sistema (KOLTUNIEWICZ; NOWORYTA, 1995).

Os modelos exponenciais oferecem uma boa aproximação com os dados de fluxo experimental (GIRARD; FUKUMOTO, 2000). Constenla e Lozano (1997) desenvolveram um modelo exponencial semi-empírico, utilizado para descrever o comportamento do fluxo de permeado de experimentos de micro e ultrafiltração de suco de maçã. Este modelo é descrito pela Equação 5. O parâmetro ajustável deste modelo é o λ (taxa de declínio de fluxo) que está relacionado à acentuação da queda do fluxo em função do tempo de filtração.

$$J = J_f + (J_i - J_f)e^{(-\lambda \cdot t)} \quad (5)$$

Onde: J_i e J_f são os fluxos iniciais e finais, respectivamente, λ é uma constante associada ao declínio de fluxo e t é o tempo.

É importante citar que no trabalho de Constenla e Lozano (1997), o suco de maçã foi submetido a um pré-tratamento enzimático com enzimas pectinolíticas e os experimentos foram realizados com recirculação do permeado e retentado ao tanque de alimentação.

Esse modelo obteve bons ajustes aos dados experimentais de fluxo segundo trabalhos realizados com sucos de abacaxi (BARROS et al., 2003) e tamarindo (WATANABE, 2007).

1.2.5 Aplicação dos PSM no processamento de sucos de frutas

A tecnologia de membranas no processamento de suco de frutas tem sido muito utilizada para a clarificação e a concentração dos sucos. A maioria dos trabalhos publicados sobre clarificação de sucos se refere ao suco de maçã, para o qual a tecnologia de membranas já vem sendo aplicada em escala industrial (RODRIGUES, 2002). No entanto, estudos mais recentes sobre a utilização de membranas na clarificação de sucos de diversas outras frutas podem ser encontrados e serão discutidos brevemente a seguir.

A MF aplicada à polpa de abacaxi foi estudada por Carneiro et al. (2002) afim de avaliar o seu uso na estabilidade e clarificação do suco de abacaxi. O estudo foi realizado utilizando-se complexos enzimáticos e membranas tubulares de polietersulfona, com tamanho de poro de 0,3 μm , área de filtração efetiva de 0,05 m^2 , utilizando-se velocidade tangencial de 6 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, temperatura de 25 $^\circ\text{C}$ e pressão transmembrana de 100 kPa. O suco clarificado teve redução de turbidez de 96,6 % e um aumento na luminosidade de 16,8 para 97,9. O produto clarificado apresentou também grau de esterilidade comercial cumprindo os requisitos de segurança obrigatória.

Paula et al. (2004) utilizou o processo de MF, realizado em um sistema de membrana tubular com tamanho médio de poro equivalente a 0,3 μm e uma pressão transmembrana de 1,5 bar, para reduzir a carga total de bactérias ácido láticas e outros microrganismos no suco de maracujá amarelo, onde a membrana eliminou 100 % dos microrganismos, mostrando que a MF é eficiente na esterilização desse suco.

O uso de pré-tratamentos enzimáticos nas polpas é amplamente utilizado antes do processo de filtração. As enzimas pectinolíticas são frequentemente associadas a processos com membranas para aumentar o rendimento e facilitar a clarificação de sucos, conforme pesquisas realizadas por Matta, Cabral e Moretti (2000) e Matta, Moretti e Cabral (2004) em suco de acerola; Rodrigues (2002) em suco de camu-camu; Vaillant et al. (2005) em suco de melão; Ushikubo, Watanabe e Viotto (2007) em suco de umbu; Cassano, Marchio e Drioli (2007) em suco de laranja e Cassano, Conidi e Drioli em suco de pêra (2010).

Em contrapartida, estudos realizados por Watanabe (2007) e He; Ji e Li (2007) em suco de tamarindo e maçã, respectivamente, reportaram que não há influência dos pré-tratamentos no fluxo de permeado. Os fluxos mais elevados encontrados para o suco de tamarindo durante a MF foram 114 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ (velocidade de 4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;

pressão 1,1 bar e pré-tratamento enzimático) e $110 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ (pressão 1,1 bar; velocidade $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e sem pré-tratamento enzimático), não havendo diferença significativa entre os fluxos de permeado com e sem pré-tratamento. Para o suco de maçã obtido por UF o maior fluxo ($120 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) foi encontrado nas condições de 2,0 bar, $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e sem tratamento enzimático. Como o tratamento enzimático demanda uma etapa a mais no processo, além dos custos adicionais, nestes estudos o uso de pré-tratamentos não foi indicado.

Fontes e Caminoto (2007) realizaram a MF de açaí em dois sistemas de membrana cerâmica de α -alumina, com poros de 0,6 e 0,2 μm e utilizaram a diluição da polpa e o refino como pré-tratamentos, obtendo fluxos de permeado de aproximadamente $9 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$. Palacio et al. (2008), por sua vez, utilizando a centrifugação como pré-tratamento, atingiram fluxos médios de permeado de $100 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ com fator de concentração volumétrico igual a 2 na MF de açaí em membrana cerâmica com 0,1 μm de tamanho de poros.

Galaverna et al. (2008) estudaram o comportamento dos diferentes compostos bioativos (vitamina C, antocianinas e flavonóides) em suco de laranja-sangue durante um processo integrado com membranas (UF seguido de concentração preliminar por OI e posterior concentração por destilação osmótica (OD)) a fim avaliar a eficiência do sistema na preservação de compostos antioxidantes naturais e compará-lo com o processo térmico. O novo processo integrado de membranas para a concentração de sucos foi eficiente na preservação da atividade antioxidante do produto final mesmo em concentrações elevadas (60 °Brix). Entre os diferentes componentes antioxidante foi observado um ligeiro decréscimo apenas na vitamina C (15 %) e antocianinas (23 %), enquanto os flavonóides permaneceram estáveis. Entretanto, a perda de atividade antioxidante foi menor que a observada com o tradicional tratamento térmico. Além disso, o suco concentrado pelo processo integrado com membranas manteve a cor vermelha brilhante e aroma agradável.

O uso de tecnologias de processamento mais amenas, como os PSM, pode ser uma alternativa com grande potencial para se atingir uma maior estabilidade dos compostos fenólicos que são facilmente degradados por oxigênio, pH, temperatura, vitamina C e, principalmente por enzimas endógenas, como a polifenoxidase e peroxidase (PACHECO-PALENCIA; HAWKEN; TALCOTT, 2007; NAZCK; SHAHIDI, 2004, SKREDE; WROSLTAD; DURST, 2000). As enzimas polifenoxidase e peroxidase são termorresistentes, o que dificulta a inativação térmica das mesmas sem perdas sensoriais significativas para

o produto processado. No entanto, Magalhães et al. (2005) verificaram a eficácia da MF e da UF para estabilização da água de coco, sendo que as técnicas de separação por membranas empregadas no trabalho reduziram de 61 a 77 % a atividade da polifenoloxidase e em 100% a atividade de peroxidase na fração permeada da água de coco.

Processos utilizando membranas (MF e UF) também podem promover a obtenção de sucos de frutas clarificados e estéreis, com a vantagem da utilização de temperaturas amenas (20-45 °C), preservando os compostos termossensíveis (PORTER, 1990; GIRARD; FUKUMOTO, 2000; CARNEIRO et al., 2002; BARROS et al., 2003) A fração livre de microrganismos deterioradores é a que permeia a membrana. Esses processos podem ser usados como alternativas para a conservação de sucos de frutas em substituição a processos térmicos, como a pasteurização convencional (GIRARD; FUKUMOTO, 1999; CAMPOS et al., 2002; BARROS et al., 2003).

1.3 Pasteurização

O uso de calor para conservar alimentos visa à redução da carga microbiana e a desnaturação de enzimas. Vários tipos de tratamentos térmicos podem ser aplicados dependendo da termossensibilidade do alimento e da sua suscetibilidade à deterioração, bem como da estabilidade requerida do produto final. Um tratamento térmico seguro deve ser selecionado de acordo com a composição, características físico-químicas e pH do produto, além de ser baseado em um binômio tempo-temperatura requerido para inativar os microrganismos patogênicos e deteriorantes mais termorresistentes em um dado alimento e da embalagem (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998; AZEREDO, 2004).

Dentre os tratamentos térmicos mais utilizados em tecnologia de alimentos destaca-se a pasteurização. Esta é um tratamento térmico relativamente suave que utiliza temperaturas inferiores a 100 °C por alguns segundos ou mais, dependendo da resistência térmica do microrganismo que se deseja destruir. Neste processo, alguns microrganismos são destruídos e alguns são apenas atenuados (injúria) (BANWART, 1989).

A pasteurização pode ser usada com dois objetivos distintos. Em produtos como leite e ovos, a pasteurização visa à destruição de microrganismos patogênicos que podem ser prejudiciais a saúde humana. Entretanto, em alguns produtos como cervejas, vinhos e sucos de frutas, o processo de pasteurização visa aumentar a estabilidade do

produto, sob o ponto de vista microbiológico e enzimático. Os produtos pasteurizados podem conter muitos organismos viáveis, o que limita a estocagem destes produtos quando comparada aos produtos comercialmente estéreis. Por esta razão a pasteurização é frequentemente utilizada em associação com outros métodos de preservação, como estocagem refrigerada e redução do pH (POTTER; HOTCHKISS, 1995).

A estabilidade e a segurança dos alimentos são baseadas em muitos fatores, os quais visam evitar a multiplicação dos microrganismos contaminantes, impedindo a deterioração e a veiculação de doenças de origem alimentar. Das interações entre os fatores extrínsecos e intrínsecos originou o conceito dos obstáculos de Leistner. Os obstáculos normalmente considerados na conservação dos alimentos são: temperatura (alta ou baixa), atividade de água (Aa), pH, potencial de oxirredução, conservadores químicos, atmosfera modificada e microrganismos competitivos (bactérias lácticas e produtos do seu metabolismo), podendo também ser incluída a adequação da embalagem. Dentre eles, o pH figura como obstáculo de grande relevância estabelecendo limites de segurança para os alimentos.

A atuação sinérgica desses fatores amplia a estabilidade e, conseqüentemente, a qualidade do alimento, tornando-o inócuo à saúde do consumidor (SENAI/SEBRAE, 1999). Tal prática assegura a produção de alimentos de qualidade superior e vida de prateleira estendida. Assim, a pasteurização é, muitas vezes, combinada com outros métodos de conservação, como estocagem refrigerada e redução de pH (POTTER; HOTCHKISS, 1995).

As temperaturas de 85-90 °C são normalmente empregadas no tratamento térmico para preservação de sucos (GONZALEZ; ZEPKA, 2003). Com relação ao caldo de cana, não foram localizados na literatura estudos que investigassem o efeito dos binômios de pasteurização (90 °C/30 s e 95 °C/30 s) na estabilidade de caldo de cana acidificado e acondicionado assepticamente em garrafas de PET.

Trabalhos realizados por Bhupinder; Sharma e Harinder (1991) mostraram que o tratamento térmico (80 °C/10 min) seguido da adição de 140 mg·L⁻¹ de metabissulfito de potássio, 3 % de suco de limão e 1 % de extrato de gengibre, conferiu uma estabilidade de 24 semanas ao caldo de cana engarrafado e um bom índice de aceitação entre provadores.

O estudo de diferentes tratamentos térmicos e sua influência na estabilidade e qualidade no caldo de cana foi realizado por Sivasubramanian e Pai (1994). A cana foi submetida a diferentes

tratamentos de branqueamento a vapor e os melhores resultados foram encontrados quando se realizou um descascamento parcial das canas. Em termos sensoriais, o melhor resultado para o tratamento do caldo foi obtido quando o mesmo foi submetido ao processo *High Temperature Short Time* (HTST), devido à alta transferência de calor e resfriamento, que não permitiu a formação de produtos de degradação.

Singh et al. (2002) submeteram caldo de cana ao processo de pasteurização utilizando o binômio tempo/temperatura 70 °C/10 min, seguida da adição de ácido cítrico (40 mg/100 mL de suco), vitamina C (40 mg/100 mL de suco) e 150 ppm de metabissulfito de potássio, como agente conservador, a fim de obterem uma bebida pronta para beber, com boa aceitação sensorial. Estas condições conferiram ao produto, acondicionado em garrafas previamente esterilizadas, estabilidade de 90 dias.

Prati, Moretti e Cardello (2005) estudaram as características microbiológicas, físicas, químicas e sensoriais de misturas de garapa parcialmente clarificada-estabilizada e sucos de frutas ácidas como limão, abacaxi e maracujá. Os autores encontraram variações nas características físico-químicas nas diferentes misturas de garapa e sucos naturais citados, entretanto todas as misturas apresentaram boa retenção de vitamina C após o processamento térmico. Também, nas condições utilizadas, as determinações microbiológicas indicaram boas condições fitossanitárias de processamento das bebidas, que, portanto se apresentaram adequadas ao consumo. A garapa parcialmente clarificada-estabilizada adicionada de 5 % de suco de maracujá foi escolhida como o produto preferido em termos de características sensoriais.

Oliveira et al. (2007) estudaram os efeitos do processamento térmico (70 °C/20 min) e da radiação gama (2,5 kGy) na estabilidade físico-química e sensorial de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas, obtendo resultados satisfatórios, já que ambos os tratamentos não alteraram a composição físico-química, o aroma e o sabor da bebida. No entanto, o teor de vitamina C foi afetado pelo processo de radiação gama isolado e combinado com o tratamento térmico no caldo de cana puro. As determinações microbiológicas das bebidas submetidas aos processamentos indicaram redução das contagens de psicotróficos, bactérias lácticas e de fungos filamentosos e leveduriformes, entretanto o processo de irradiação apresentou-se como o menos eficiente na redução das contagens.

1.4 Processamento asséptico

A tecnologia de sistemas assépticos consiste no acondicionamento de um produto comercialmente estéril em uma embalagem pré-esterilizada, em um ambiente controlado ou em áreas limpas, seguido de um fechamento asséptico e hermético. O resultado é um produto comercialmente estéril, ou seja, livre de microrganismos capazes de se reproduzirem nas condições de estocagem. Este procedimento permite a estocagem e comercialização à temperatura ambiente e uma maior preservação da qualidade do produto (HOLDSWORTH, 1992; BUCHNER, 1993).

De acordo com Klaus (2002), as principais vantagens atribuídas ao uso de sistemas assépticos na produção de alimentos são: o aumento da vida de prateleira, a diminuição ou remoção completa de agentes conservadores, controle de processo confiável e melhoria da qualidade do produto. O conceito de sistema asséptico surgiu no início do último século, entre 1914 e 1920. No entanto o sistema asséptico só teve sua grande expansão no início dos anos 80, quando o FDA aprovou o uso de peróxido de hidrogênio como agente esterilizante de embalagens (BUCHNER, 1993; BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998).

O processamento asséptico permite uma melhor qualidade do produto, uma vez que o tratamento térmico utilizado, seja UHT (*Ultra High Temperature*) ou HTST (*High Temperature Short Time*), permite rápido aquecimento e resfriamento, através de trocadores de calor. Outra vantagem do sistema asséptico é a possibilidade da utilização de embalagens que não podem sofrer tratamentos severos, como as embalagens plásticas (BUCHNER, 1993; BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998).

A eficiência do sistema asséptico depende também da qualidade do ar utilizado na sala de acondicionamento. É recomendado o uso de fluxo de ar livre de microrganismos. Uma vez que estes microrganismos são veiculados através de partículas em suspensão no ar, o controle destas partículas torna-se essencial na manutenção da qualidade do produto (FARIA, 1993).

Silva (2004) estudou um processo de industrialização de caldo de cana pelo enchimento a quente em garrafas de vidro e um sistema asséptico piloto para caldo de cana em garrafas de vidro, avaliando a qualidade do caldo produzido pelos dois processos estocados à temperatura ambiente, em relação aos aspectos sensoriais, microbiológicos e físico-químicos, determinando a vida-de-prateleira do caldo de cana obtido. As análises sensoriais pós-processo mostraram

que o caldo de cana, quando processado assepticamente, apresentou-se estável durante 30 dias de estocagem em temperatura ambiente, enquanto que o caldo de cana processado e envasado a quente atingiu uma vida útil de 60 dias.

1.5 Análise sensorial de alimentos

A análise sensorial é um campo muito importante na indústria de alimentos, pois contribui direta e indiretamente para inúmeras atividades, como desenvolvimento de novos produtos, controle de qualidade, reformulação e redução de custos de produtos, relações entre condições de processo, ingredientes, aspectos analíticos e sensoriais (PAL; SACHDEVA; SINGH, 1985).

Os testes sensoriais são incluídos no controle de qualidade por serem uma medida multidimensional integrada, que possui importantes vantagens como: serem capazes de detectar a presença ou ausência de diferenças perceptíveis, definirem características sensoriais importantes de um produto de forma rápida, e serem capazes de detectar particularidades dificilmente detectadas por outros procedimentos analíticos (MUÑOZ; CIVILLE; CARR, 1992).

De acordo com Jellinneck (1985), a sequência de percepção sensorial durante o consumo de uma bebida ou alimento segue o seguinte caminho: impressão visual, impressão causada pelo aroma, impressão gustativa, impressão da consistência ou textura e, por último, a impressão causada pelo aroma durante a gustação.

Os testes afetivos são testes em que atitudes subjetivas, tais como preferência ou aceitação de um produto, são medidas. Nos testes afetivos, a tarefa do provador é indicar a preferência ou aceitação por meio de seleção, ordenação ou pontuação das amostras. Os julgadores são normalmente consumidores atuais ou potenciais do produto, podendo ser realizado em laboratório ou em estudo de campo (CHAVES, 1993).

Conforme afirma Ferreira (2000), os testes afetivos são utilizados quando se necessita conhecer o “status afetivo” dos consumidores com relação ao(s) produto(s), e para isso são utilizadas escalas hedônicas. Dos valores relativos de aceitabilidade pode-se inferir a preferência, ou seja, as amostras mais aceitas são as mais preferidas e vice-versa.

A determinação da aceitação pelo consumidor é parte crucial no processo de desenvolvimento ou melhoramento de produtos. Para uma triagem inicial ou uma avaliação preliminar da aceitação, a análise é

normalmente realizada em condições laboratoriais, com 30-50 julgadores não treinados. Para estudos mais representativos, utilizam-se “locais centrais” (locais de grande aceitação de pessoas), pela facilidade de seleção ao acaso de um número de 100 pessoas, para cada tratamento, formulação ou amostra avaliada (DUTCOSKI, 1996; CARNEIRO; MINIM; SOUZA Jr, 2005).

Entre os métodos mais empregados para medida da aceitação de produtos está a escala hedônica. Nesta escala o provador expressa sua aceitação pelo produto. Seguindo uma escala previamente estabelecida que varia gradativamente com base nos atributos “gosta e desgosta”, estando a preferência implícita neste caso (CHAVES; SPROESSER, 1996; DUTCOSKI, 1996).

1.6 Reologia

A reologia é definida como a ciência que estuda a resposta de um material à aplicação de uma tensão ou deformação (AICHINGER et al., 2003; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Segundo McClements (2009), muitas das propriedades texturais que os humanos percebem quando consomem alimentos são basicamente reológicas na natureza, isto é, cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza. A estabilidade e aparência dos alimentos frequentemente dependem das características reológicas e de seus componentes. Além disso, o conhecimento do comportamento reológico é de grande importância para a indústria de alimentos, pois influencia nos cálculos em processos de engenharia (cálculo de vazão, seleção de bombas, determinação da perda de carga em tubulações, etc.); determina a funcionalidade de um ingrediente no desenvolvimento de um produto; controla a qualidade e vida-de-prateleira e correlaciona os resultados obtidos com a análise sensorial (HOLDSWORTH, 1993; AICHINGER et al., 2003; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005);

Para o processamento de frutas *in natura* na forma de sucos e néctares exige-se uma série de conhecimentos a respeito das características destes produtos, com vistas à adaptação dos processos e das instalações industriais às suas exigências específicas. Dentre estas características, incluem-se as propriedades reológicas, importantes na otimização, controle e cálculos de processos de bombeamento, transporte em tubulações e também na economia de energia, o que, atualmente, se tornou extremamente importante a ponto de cada vez mais as operações de troca de calor e massa serem feitas de forma

precisa (IBARZ; GARVIN; COSTA, 1996; QUEIROZ; BEZERRA; GASPARETTO, 1999)

A viscosidade é considerada um dos principais parâmetros reológicos e mede a resistência do fluido ao escoamento, quando uma taxa de deformação é aplicada. O comportamento de um alimento durante o seu processo pode variar significativamente, pois a consistência e a composição do material podem ser alteradas devido a etapas de mistura, aquecimento, resfriamento, homogeneização, aeração, fermentação, cristalização, etc., contribuindo, portanto, na modificação da viscosidade (BHATTACHARYA, 1997; LEWIS, 1993).

Os fluidos são caracterizados, quanto ao seu comportamento reológico, em newtonianos e não-newtonianos. Os fluidos newtonianos, em escoamento laminar e regime permanente, apresentam viscosidade constante, ou seja, são caracterizados por uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação (Equação 6), dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido, (HOLDSWORTH, 1993; SILVA, 2000). Alguns exemplos de alimentos que apresentam comportamento newtoniano são os sucos de frutas clarificados, leite, cerveja, vinho, óleo refinado e soluções de sacarose (HOLDSWORTH, 1971; SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000).

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (6)$$

Onde: τ é a tensão de cisalhamento ($\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ ou Pa); μ a viscosidade absoluta ou dinâmica ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) e $\dot{\gamma}$ a taxa de deformação (s^{-1}).

A tensão de cisalhamento é definida como a razão entre a força (F) necessária para produzir o movimento e a área (A), conforme a Equação 7 abaixo.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (7)$$

O termo viscosidade (μ) é geralmente reservado para fluidos newtonianos. Para fluidos não-newtonianos, a viscosidade a uma determinada taxa de deformação é denominada “viscosidade aparente” (μ_a), que é definida como a razão entre a tensão de cisalhamento (τ) e a taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) (Equação 8).

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (8)$$

Onde: μ_a é a viscosidade aparente (Pa·s).

Os fluidos viscosos não-newtonianos não apresentam proporcionalidade entre a taxa de cisalhamento e a tensão de cisalhamento (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 1996). Estes podem ser dependentes ou independentes do tempo. Para os fluidos não-newtonianos independentes do tempo, à temperatura e composição constantes, a viscosidade aparente depende da taxa de cisalhamento ou da tensão de cisalhamento (RAO; RIZVI, 1986). Dentre os independentes do tempo (Figura 6a) estão os fluidos plásticos de Bingham (margarina, óleos vegetais); os fluidos pseudoplásticos, nos quais a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação (sucos e polpas de frutas e vegetais) e os fluidos dilatantes, quando a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação (suspensões de amido, mel). Já os fluidos dependentes do tempo (Figura 6b) cuja viscosidade depende não somente da taxa de deformação, mas também do tempo de escoamento, estão divididos em tixotrópicos (maionese, iogurte) e reopéticos (HOLDSWORTH, 1993; MACHADO, 2002; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

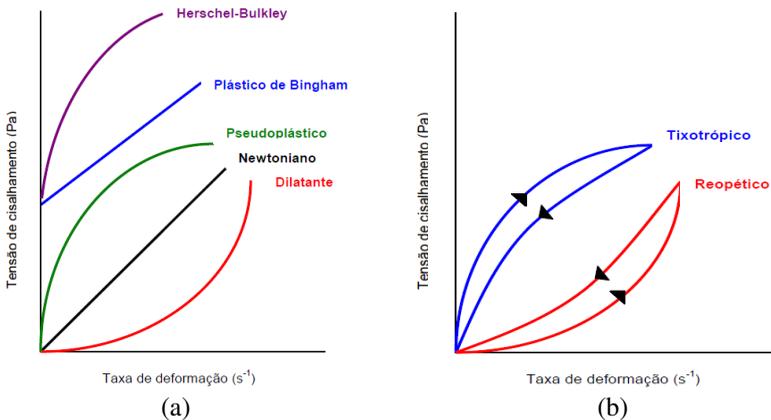


Figura 6 Curva de fluxo de alguns tipos de fluidos (a) independentes do tempo e (b) dependentes do tempo.

Fonte: Sharma; Mulvaney; Rizvi (2000).

De acordo com Sugai (2002), as polpas de frutas, dispersões de moléculas ou partículas assimétricas, apresentam no repouso um estado desordenado e, quando submetidas a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas ou partículas tendem a orientar-se na direção da força aplicada. Quanto maior a força aplicada, maior será a ordenação, e consequentemente, menor a viscosidade aparente.

Segundo Branco (1995), os modelos reológicos são usados para uma melhor descrição do comportamento reológico dos fluidos, permitindo relacionar as propriedades reológicas com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH, índice de maturação, entre outros. Na literatura existem muitos modelos reológicos propostos, porém a escolha do modelo a ser utilizado é uma função das características do fluido (RAO; ANANTHESWARAM, 1982).

Os modelos que geralmente descrevem o comportamento reológico de sucos e polpas de frutas são o Modelo de Ostwald-de-Waele (ou Lei da Potência) e o Modelo de Herschel-Bulkley (ou Lei de Potência Generalizada), sendo que este último se diferencia do primeiro apenas pela inclusão do parâmetro de tensão inicial de cisalhamento (τ_0) (HOLDSWORTH, 1993). Os modelos são descritos nas Equações 9 e 10.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (9)$$

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (10)$$

Onde: τ é a tensão de cisalhamento ($\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ ou Pa); τ_0 a tensão inicial de cisalhamento ($\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ ou Pa); $\dot{\gamma}$ a taxa de deformação (s^{-1}); K o índice de consistência ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$); e n o índice de comportamento (adimensional).

O índice de comportamento de fluxo reflete a proximidade do fluido ao comportamento newtoniano. Para fluido newtoniano ($n = 1$), o índice de consistência (K) é igual à viscosidade do fluido (RAO; TATTIYAKUL, 1999). Quando $n < 1$ o fluido é pseudoplástico; quando $n > 1$ o fluido é de natureza dilatante (PIAU; DEBIANE, 2005).

1.7 Análise de cor

A cor é uma propriedade de aparência relacionada à distribuição espectral da luz. O brilho, a transparência, a nebulosidade e a turbidez são propriedades de materiais que se referem à maneira geométrica na qual a luz é refletida e transmitida (POMERANZ; MELOAN, 2000).

Segundo Francis e Clydesdale (1975), a cor pode ser definida como a sensação experimentada por um indivíduo quando a energia da luz correspondente ao espectro visível atinge a retina do olho. A região do espectro eletromagnético sensível ao olho humano está na faixa de comprimento de onda (λ) entre 390 a 750 nm. A composição química e a estrutura do material vão definir a capacidade deste de alterar a distribuição espectral da luz (CALVO; DURÁN, 1997).

Na primeira impressão como consumidores, julgamos um produto alimentício pela sua aparência. O atributo mais relevante para a aceitação do mesmo é sua cor, mesmo que ela não reflita os valores nutricionais, o sabor ou propriedades funcionais. Desta forma a cor é um importante parâmetro para a determinação da qualidade dos alimentos auxiliando no controle da matéria-prima, nas alterações causadas pelo processamento e armazenamento (SHAN; NORMAND; PELEG, 1997; MACDOUGALL, 2002; LEÓN et al., 2006).

A determinação da cor pode ser realizada através de uma inspeção visual (humana) ou usando um instrumento de medida, como por exemplo, espectrofotômetro ou colorímetro. Apesar da inspeção da cor através da visualização humana ser considerada adequada, observa-se que quando ocorrem mudanças de iluminação, torna-se subjetiva e extremamente variável. Desta forma, segundo León et al. (2006), é recomendável que a análise seja feita através do uso de um instrumento de medida da cor. Os colorímetros Minolta ou Hunter Lab são alguns dos instrumentos empregados na medida da cor também de alimentos (LEÓN et al., 2006).

Em 1976, com a intenção de estabelecer um padrão, a CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) recomendou a utilização da escala de cor CIE L^*a^*b ou (CIELAB). O sistema de cor CIELAB mais proximamente representa a sensibilidade humana para cor, pois é a escala de cor mais uniforme e linear. Em uma escala de cor uniforme, distâncias iguais entre dois pontos no gráfico correspondem a diferenças igualmente percebidas pelo olho humano (MINOLTA, 1994; HUNTERLAB, 1996).

O espaço de cores CIELAB é organizado em coordenadas retangulares cartesianas, conforme Figura 7. O eixo L^* vai do topo à base, sendo que o valor máximo de L^* é 100 (branco) e o mínimo é zero, o que representa o preto. Os eixos a^* e b^* não tem limites numéricos específicos, de forma que o vermelho é representado por $+a$ e o verde por $-a$; o amarelo como $+b$ e o azul $-b$ (HUNTERLAB, 1996; LAWLESS; HEYMANN, 1999).

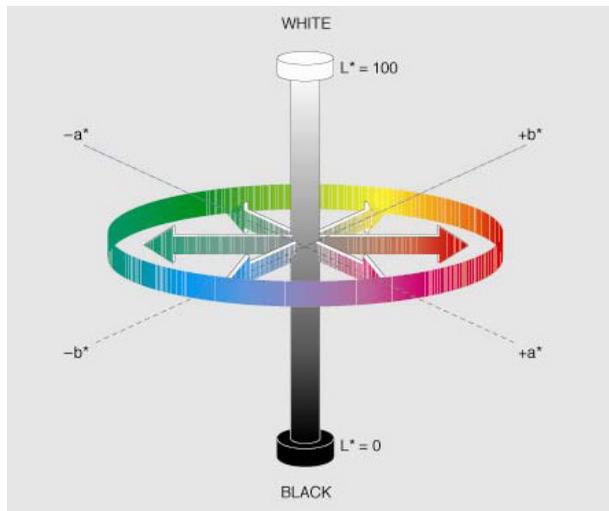


Figura 7 Diagrama representando o espaço de cores CIELAB.
Fonte: adaptado de Hunterlab (1996).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AICHINGER, P.A.; MICHEL, M.; SERVAIS, C.; DILLMANN, M.L.; ROUVET, M.; D'AMICO, N.; ZINK, R.; KLOSTERMEYER, H.; HORNE, D.S. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chymosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 31, n. 1, p. 243-255, 2003.

AZEREDO, H.M.C de. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 195 p., 2004.

BARROS S.T.D.; ANDRANDE, C.M.G.; MENDES, E.S.; PERES, L. Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration. **Journal of Membrane Science**, n. 215, p. 213-224, 2003.

BARUFFALDI, R., OLIVEIRA, M. N. de. Conservação de alimentos por tratamento térmico. In: **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, v. 3, Cap.5, 1998.

BANWART, G. J. **Basic Food Microbiology**. New York: An Avi Book, p.651-710, 1989.

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

BHUPINDER, K.; SHARMA, K.P.; HARINDER, K. Studies on the development and storage stability of ready to serve bottled sugarcane juice. **International Journal of Tropical Agriculture**, v. 9, n. 2, p. 128-134, 1991.

BRANCO, I. G. **Suco de laranja concentrado – comportamento reológico a baixas temperaturas**. (1995). Dissertação. (Mestrado), UNICAMP, Campinas.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 12, 2 jan. 2001. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, p. 17, 2001. Seção 1.

BRAZ, H. Garapa boa deve vir de cana apropriada. **Suplemento Agrícola**, p. 1-3, n.27, 2003

BUCHELI, C.S.; ROBINSON, S.P. Contribution of enzymatic browning to color in sugarcane juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 2, p. 257-261, 1994.

BUCHNER, N. Aseptic processing and packaging of food particulates. In: WILLHOFT, E. M. A. **Aseptic processing and packaging of particulates foods**. Glasgow: Blackie Academic e Professional, Cap.1, p. 1-22, 1993.

CALVO, C.; DURÁN, L. Propiedades Físicas II – Ópticas y color. In: **122 CITED – Instituto Politécnico Nacional. Temas en Tecnología de alimentos**. Mexico: Ed: José Miguel Aguilera, v. 1, 1997

CAMPOS, D. C. P., SANTOS, A.S.; WOLKOFF, D.B.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C; COURI, S. Cashew apple juice stabilization by microfiltration. **Desalination**, v.148, n.6, p.1-65, 2002.

CARNEIRO, L.; SA, I.S.; GOMES, F.S.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangencial microfiltration. **Desalination**, v. 148, p. 93-98, 2002.

CARNEIRO, J.C.S., MINIM, V.P.R., SOUZA JR, M.M. de. Sensory profile and acceptability of cultivars of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 18-24, 2005.

CARVALHO, E. **Perspectivas da agroenergia**. São Paulo: Unica, 2007.

CARVALHO, L. M.J. de.; CASTRO, I. M. de.; SILVA, C.A.B. da. A study of retention of sugars in the process of clarification of pineapple juice (*Ananas comosus*, L. Merrill) by micro and ultrafiltration. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 447-454, 2008.

CASSANO, A.; CONIDI, C.; DRIOLI, E. Physico-chemical parameters of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice clarified by microfiltration and ultrafiltration processes. **Desalination** v.250, p.1101-1104, 2010.

CASSANO, A.; MARCHIO, M.; DRIOLI, E. Clarification of blood orange juice by ultrafiltration: analyses of operating parameters, membrane fouling and juice quality. **Desalination**. v. 212, p. 15-27, 2007

CASSANO, A.; DONATO, L; DRIOLI, E. Ultrafiltration of kiwifruit: operating parameters, juice quality and membranas fouling. **Journal of Food Engineering**, v.69, p.613-621, 2007

CHACÓN-VILLALOBOS, A., Tecnologias de Membranas en la Agroindustria Lactea, **Agronomia Mesoamericana**, v. 17, n. 2, p. 243-264, 2006.

CHAVES, J. B. P. **Métodos de Diferença em Avaliação Sensorial de Alimentos e Bebidas**. Viçosa - MG: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, p.14-23, 1993.

CHAVES, J. B. P.; SPROESSER, R.L. **Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas**. Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária. Viçosa, MG, 1996.

CHERYAN, M. **Ultrafiltration and Microfiltration Handbook**. Lancaster: Technomic Publishing Company, 1998.

CHIRIFE, J.; FAVETTO, G. J. Some physico-chemical basis of food preservation by combined methods. **Food Research International**, v. 25, p. 89-396, 1992.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra de cana-de-açúcar 2009**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3_levantamento2009_dez2009.pdf > Acesso em: 15 de fevereiro de 2010.

CONSTENLA, D. T.; LOZANO, J. E. Hollow fibre ultrafiltration of apple juice: macroscopic approach. **LWT - Food Science and Technology**, v. 30, p. 373-378, 1997.

DEMATTÊ, J.L.I. Modernizada, canicultura é líder em produção. **Visão agrícola**, Piracicaba, n. 1, p. 60-67, 2004.

DEY, B.K.; HASHIM, M.A.; HASAN, S.; GUPTA, B.S. Microfiltration of water-based paint effluents. **Advances in Environmental Research**, v. 8, p. 455-466, 2004.

DIAS, T. **MBR: nova tecnologia para tratamento de efluentes**. Disponível em: <http://www.meiofiltrante.com.br/noticias.asp?action=detalhe&id=1016>. Acesso em: 10 abril 2009.

DUTCOSKI, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**; Editora Universitária: Champagnat, Curitiba, PR. 1996.

DZIEZAK, J. D. Membrane separation technology offers processors unlimited potential. **Food Technology**, v. 44, n. 9, p. 108-113, 1990.

ECKNER, K. F.; ZOTTOLA, E. A. Potential for the low temperature pasteurization of dairy fluids using membrane. **Journal of Food Protection**. v. 54, n. 10, p. 793-797, 1991.

FARIA, J. A. F. Estabilidade de alimentos processados assepticamente. in: **II Seminário Latino Americano - Avanços em Tecnologia para Processamento Asséptico de Alimentos**. Campinas, p. 7-28, 1993.

FAVA, A. R. Atletas ingerem garapa para repor energia. **Jornal da Unicamp**, v. 18, p. 8, 2004.

FERREIRA, V.L.P. **Análise sensorial - Testes discriminativos e afetivos**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Manual Série Qualidade, p. 73-77, 2000.

FONTES, S. R.; CAMINOTO, K. B. Microfiltração tangencial aplicada na clarificação do suco de açaí. In: **Anais do VI Congresso Ibero-Americano em Ciências e Tecnologia de Membranas - CITEM, 2007**, Campina Grande – PB, v. 6, p. 1-4, 2007.

FRANCIS, F. J.; CLYDESDALE, F. M. **Food colorimetry: theory and applications**. Westport: AVI Publishing Co., 475p., 1975.

GALAVERNA, G.; DI SILVESTRO, G.; CASSANO, A.; SFORZA, S.; DOSSENA, A.; DRIOLI, E.; MARCHELLI, R. A new integrated membrane process for the production of concentrated blood orange juice: effect on bioactive compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 106, p. 1021-1030, 2008.

GALLO, C. R.; CANHOS, V. P. Contaminantes bacterianos na fermentação alcoólica - Revisão **Revista STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**. v. 9, n.4/5, p. 35-40, 1991.

GALLO, C. R. **Determinação da microbiota bacteriana de mosto e de dornas de fermentação alcoólica**. 1989. Tese. (Doutorado Tecnologia de Alimentos) UNICAMP, Campinas. SP.

GIRARD, B; FUKUMOTO, L. R. Apple juice clarification using microfiltration and ultrafiltration polymeric membranes. **LWT - Food Science and Technology**. v. 32, p. 290-298, 1999.

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, p.91-157, 2000.

GONZALEZ, P. M.; ZEPKA, M. M. **Portal de embalagens**. 2003. Disponível em: <http://www.furg.br/portaldeembalagens/index.html> acesso em 16 de abril de 2009

HABERT, A.C.; BORGES C.P.; NÓBREGA, R. **Processos de Separação com Membranas. Programa de Engenharia Química/ COPPE/UFRJ**, 2000.

HABERT, A.C.; BORGES, C.P.; NÓBREGA, R. **Processos de Separação com Membranas**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 180 p, 2006.

HE, Y; JI, Z; LI, S. Effective clarification of apple juice using membrane filtration without enzyme and pasteurization pretreatment. **Separation, Purification Technology**, v. 57, p. 366-373, 2007.

HONER, C. "Pasteurization" by membrane technology. **Dairy Field**, v.174, n.17, p.28, 1991.

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, v. 2, n. 4, p. 393-418, 1971.

HOLDSWORTH, S. D. Aseptic processing and packaging of food products. **Elsevier Science Publisher Ltda**. Cap.9, p.335-375, 1992.

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

HUISMAN, I.E.D.; MIDDELINK, E.; TRÄGÄRDH, A. C. Properties of de cake layer formed during crossflow microfiltration. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. v. 138, p. 265-281, 1998.

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

IANNI, B.M.; MADY, C. Como era gostoso o meu caldo de cana. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**. v. 85, n. 6, p. 379-381, 2005.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos**. Pennsylvania:Technomic Publishing Companing, p. 85-204, 1996.

IBARZ, A.; GARVIN, A.; COSTA, J. Rheological behaviour of sloe (*Prunus Spinosa*) fruit juices. **Journal of Food Engineering**, v. 27, n. 4, p. 423-430, 1996.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estudo nacional da despesa familiar: Tabela de composição de alimentos**. 5° ed. Rio de Janeiro:Varela, 137 p.,1999.

IEL/SEBRAE. **O novo ciclo da cana: estudo sobre a competitividade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar e prospecção de novos empreendimentos**. Brasília: Instituto Euvaldo Lodi/Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, 2005.

JAMES, B. J.; JING, Y.; CHEN, X. D. Membrane fouling during filtration of milk - a microstructural study. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 431-437, 2003

JELLINECK, G. **Sensory evolution of food: Theory and practice**, England: Elis Horwood, p. 329-242, 1985.

KELLY, P. M.; MEHRA, R.; OLDFIELD, D. J.; RAGGETT, E.; O'KENNEDY, B. T. Implementation of integrated processes for pilot scale development of fractionated milk components. **Lait**, v. 80, p. 139-153, 2000.

KLAUS, J. S. Soluções para o projeto de salas limpas na indústria de alimentos. **Revista da Sociedade Brasileira de Controle de Contaminação (SBCC)**, São José dos Campos, n. 8 p. 14-16, 2002.

KOLTUNIEWICZ, A. B., NOWORYTA, A., Method of yield evaluation of pressure-driven membrane process. **The Chemical Engineering Journal**, v. 58, p. 175-182, 1995.

LAWLESS, H.T.; HEYMANN, H. **Sensory evolution of food**. Maryland: Aspen Publishers, 1999.

LEISTNER, L. Shelf stable products and intermediate moisture foods based on meats. In: ROCKLAND, L.B., BEUCHAT, L.R. **Water activity: theory and application to foods**. New York: Marcel Dekker, p. 295-327, 1987.

LEÓN, K.; MERY, D.; PEDRESCHI, F.; LEÓN, J. Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images. **Food Research International**, p. 1084-1091, 2006.

LEVI, A.; GAGEL, S.; JUVEN, B.J. Intermediate-moisture tropical fruit products for developing countries. II. Quality characteristics of papaya. **Journal of Food Technology**, v. 20, p. 163, 1985.

LEWIS, M.J. **Propriedades físicas dos alimentos y de los sistemas de procesado**. 1°. ed. Editora Acribia: Zaragoza, 1993.

LOURENÇO, A.E.P.; UCHOA, C.M.A.; BASTOS, O.M.P. Enteroparasitoses em manipuladores de alimentos de hospitais da cidade de Niterói, RJ, Brasil. **Higiene Alimentar**, v. 16, n.97, p. 16-21, 2002.

LUBATTI, M. R. S. Vendedor ambulante, profissão folclórica: pesquisa nas ruas, parques e jardins de São Paulo. **Jangada Brasil**, n. 7, p. 1-2, 1999.

MACDOUGALL D.B. **Colour in food Improving quality**. Wood head Publishing Limited. 12p., 2002.

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

MAGALHÃES, M.P.; GOMES, F.S.; MODESTA, R.C.D.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Conservação da água de coco verde por filtração em membrana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 72-75, 2005.

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

MATSUURA, F.C.A.U.; FOLEGATTI, M.I.S.; CARDOSO, R.L.; FERREIRA, D.C. Sensory acceptance of mixed nectar papaya, passion fruit and acerola. **Scientia Agricola**., v. 61, n. 6, p. 604 - 608, 2004.

MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C.; MORETTI, R.M. Clarification of acerola juice by enzymatic treatment and microfiltration, **Alimentaria**, n. 309, p. 127-130, 2000.

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, n. 4, p. 477-482, 2004.

MCCLEMENTS. **Journal of Food Biopolymers and Colloids Research Laboratory**, University of Massachusetts Amherst. Disponível em: <<http://www.unix.oit.umass.edu/~mcclemen/581Rheology.html>> Acesso em: 03 dezembro 2009.

MEISEL, H. Overview on milk protein-derived peptides. **International Dairy Journal**, v.8, p.363-373, 1998.

MINOLTA. **Precise color communication**: color control from feeling to instrumentation. MINOLTA Co. Ltd., 1994.

MULDER, M. **Basic principles of membrane technology**. Center for membrane science and technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands, p.564, 2000.

MUÑOZ, A.M.; CIVILLE, G.L.; CARR, B.T. **Sensory evaluation in quality control**. New York: Van Nostrand Reinhold, 240 p. 1992.

NAZCK, M.; SHAHIDI, F. Extration and analysis of phenolics in food review. **Journal of Chromatography A**, v.1054, p.95-111, 2004.

NOBLE, R.D.; STERN, S.A. **Membrane separations technology - Principles and applications**. EUA: Elsevier, 1995

OLIVEIRA, A.C.G; NOGUEIRA, F.A.G.; ZANÃO, C.F.P.; SOUZA, C.W.O.; SPOTO, M.H.F. Análise das Condições do Comércio de Caldo de Cana em Vias Públicas de Municípios Paulistas. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 6-18, 2006^a.

OLIVEIRA, A.C.G.; SEIXAS, A.S.S.; SOUSA, C.P.; SOUZA, C.W.O. Microbiological evaluation of sugarcane juice sold at street stands and juice handling conditions in São Carlos, São Paulo, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22. n. 5, p. 1111-1114. 2006^b.

OLIVEIRA, A.C.G. de; SPOTO, M.H.F, CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SOUSA, C. P. de; GALLO, C.R. Efeitos do processamento térmico e da radiação gama na conservação de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 863-873, 2007.

ORDÓNEZ, J.A.; RODRÍGUEZ, M.I.C.; ÁLVAREZ, L.F.; SANZ, M.L.G.; MINGUILLÓN, G.D.G.F.; PERALES, L.H.; CORTECERO, M.D.S. **Tecnología de alimentos - Alimentos de origem animal**. Porto Alegre: Artmed, v. 2, 279p., 2005.

OSTERGAARD, B. Applications of Membrane Processing in the Dairy Industry. In: MAcCARTHY, D. **Concentration and Drying of Foods**. Oxford: Elsevier Applied Science Publishers, p. 133-145, 1989.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; HAWKEN, P. AND TALCOTT, S. T. Juice matrix composition and ascorbic acid fortification affects on the phytochemical, antioxidant and pigment stability of *açai* (*Euterpe oleracea* Mart.) **Food Chemistry**, v.105, p.28-35, 2007.

PAL, D.; SACHDEVA, S.; SINGH, S. Methods for determination of sensory quality of foods: A critical appraisal. **Journal of Food Science**, v. 32, n. 5, p. 357-367, 1985.

PALACIO, D.N.M.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C.; FREITAS, S.P. Concentração de suco clarificado de açaí por osmose inversa. In: **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos - SBCTA**, Belo Horizonte, 2008.

PAULA, B. de; MORAES, I.V.; GOMES, F.S.; SILVA, L.F.M.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Microfiltração de suco de maracujá. **Anais XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Porto Alegre, 2002

PETRUS, J.C.C. **Preparação, modificação e caracterização de membranas assimétricas para a clarificação de sucos de frutas**. 1997. 139f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

PIAU, J.M.; DEBIANE, K. Consistometers rheometry of power-law viscous fluids. **Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics**, v.127, p.213-224, 2005.

POMERANZ, Y.; MELOAN, C., E. **Food Analysis – Theory and Practice**. 3°. ed. Aspen Publishers: Maryland, EUA, p. 87-92, 2000.

PORTER, M.C. **Handbook of Industrial Membrane Technology**. New Jersey: Noyes Publications, 1990.

POTTER, N. N.; HOTCHKISS, J. H. **Food Science**. New York: Chapman e Hall. 5th ed. p.139-199, 1995.

PRATI, P.; MORETTI, R.H.; CARDELLO, H.M.A.B. Elaboração de bebida composta por mistura de garapa parcialmente clarificada e sucos de frutas ácidas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 147-152, 2005.

PRATI, P.; MORETTI, R.H.; CARDELLO, H.M.A.B.; GÂNDARA, A.L.N. Estudo da vida-de-prateleira de bebida elaborada pela mistura de garapa parcialmente clarificada-estabilizada e suco natural de maracujá. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 22, n. 2, p. 295-310, 2004.

PROCESSO TANGENCIAL. Disponível em: <www.dbdfiltros.com.br/imagens/filtracaoTangencial.jpg> Acesso em: 03 março 2009.

QUEIROZ, A.J.M; BEZERRA, J.R.M.V; GASPARETTO, C.A. Influência dos sólidos insolúveis no comportamento reológico do suco de manga. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 1, n. 1, p. 27-32, 1999.

QUDSIEH, H. Y. M.; YUSOF, S.; OSMAN, A.; RAHMAN, R.A. Effect of maturity on chlorophyll, tannin, color and poliphenol oxidase (PPO) activity of sugarcane juice (*Saccharum officinarum* var. yellow cane). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 50, n. 6, p. 1615-1618, 2002.

RAO, M. A. Rheological properties of fluid foods. In: RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H. **Engineering properties of foods**. New York: Marcel Dekker, Cap.5, p.1-47, 1986.

RAO, M.A.; ANANTHESWARAN, R.C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**. v. 36, n. 2, p. 116, 1982.

RAO, M.A.; TATTIYAKUL, J. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. **Carbohydrate Polymers**, v. 38, p. 123-132, 1999.

RAUTENBACH, R.; ALBRECHT, R. **Membrane Processes**. Chichester: John Wiley & Sons, 459 p.,1989.

RODRIGUES, R.B. **Aplicação dos Processos de Separação por Membranas para a produção de suco clarificado e concentrado de Camu Camu (*Myrciaria dúbia*)**. 146 p. 2002. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Tecnologia de Alimentos, UNICAMP, Campinas,SP.

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

SABOYA, L.V.; MAUBOIS, J.L. Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. **Lait**, v.80, p.541-553, 2000.

SCOTT, K. Handbook of Industrial Membranes. Introduction to Membranes Separations. **Elsevier**, cap.1, p.3-175, 1995.

SEABRA, J.E.A. **Análise de opções tecnológicas para uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, SP.

SENAI/SEBRAE. **Elementos de apoio para o sistema APPCC**. Brasília, 371p.1999.

SHAN Y.; NORMAND M. D.; PELEG M. **Estimation of the surface concentration of adhered particles by color imaging**. Lausanne: Elsevier, v. 92, p. 147-153, 1997.

SHARMA, S. K.; MULVANEY, S. J.; RIZVI, S.S.H. **Food processing engineering: theory and laboratory experiments**. United States of America: Wiley-Interscience, 348 p., 2000.

SHIKANAI-YASUDA, M.A.; MARCONDES, C.B.; GUEDES, L.A. Possible oral transmission of acute Chagas' disease in Brazil. **Revista Instituto Medicina Tropical de São Paulo**. v.33, p.351-357, 1991.

SILVA, K.S. **Avaliação de processo de industrialização de caldo de cana-de-açúcar (*sacharum spp*) por enchimento a quente e sistema asséptico**. 2004. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, SP.

SILVA, N.; CANHOS, V.P. Caracterização da microbiota bacteriana contaminante do caldo de cana durante a etapa de resfriamento em torre no processo de produção de álcool. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**. v.20, n.1, p.60-72, 1990.

SILVA, F. C. da. **Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e da temperatura**. 2000. 110 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

SINGH, D.; CHAUHAN, O. P.; TYAGI, S. M.; BALYAN, D. K. Studies on Preservation of Sugarcane Juice. **International Journal of Food Properties**, v.5, n.1, p.217-229, 2002.

SIVASUBRAMANIAN, C.G.; PAI, J.S. Effect of heat treatments on the quality of sugarcane juice. **Indian Food Packer**, v. 48, n. 2, p. 51-54, 1994.

SKREDE, G.; WROLSTAD, R. E.; DURST, R. W. Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of Highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) **Journal of Food Science**, v. 65, n. 2, p. 357-364, 2000.

SOCOL, C.R.; SCHWAB, A.; KATAOKA, C.E. Avaliação microbiológica do caldo de cana (garapa) na cidade de Curitiba. **Boletim CEPPA**, v. 8, n. 2, p. 116-125, 1990.

SOUZA, A.C.G. de; SANDI, D. Industrialização. In: BRUCKNER, C.H.; PICANÇO, M.C. **Maracujá: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 472p., 2001.

SOUZA, M.F.; SOARES, R.M. Ultrafiltro de alumina. **Cerâmica**, v. 45, p. 292-293, 1999.

STUPIELLO, J.P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização** . v.2. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

SUGAI, A. Y. **Processamento descontínuo de purê de manga (*Mangifera indica* Linn.), variedade Haden: estudo da viabilidade do produto para pronto consumo**. 2002. 82p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia) - Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo.

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

TEIXEIRA, M.M.C.G.R. **Ultrafiltração no tratamento de água para consumo humano**. 2001. Dissertação de mestrado - Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, Portugal.

TOYOMOTO, K.; HIGUCHI, A. **Microfiltration and ultrafiltration**, New York: Marcel Dekker Inc., 1992.

USHIKUBO, F.Y; WATANABE, A.P; VIOTTO, L.A. Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice. **Journal of Membrane Science**, v.288, p.61-66, 2007.

VADI, P.K.; RIZVI, S.S.H. Experimental evaluation of a uniform transmembrane pressure crossflow microfiltration unit for the concentration of micellar casein from skim milk. **Journal of Membrane Science**, v. 189, p. 69-82, 2001.

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

VAN DER HORST, H.C.; HANEMAAIJER, J.H. Cross-flow microfiltration in the food industry. State of the art. **Desalination**, V.77, p. 235-258, 1990.

VANZO, S.P.; AZEVEDO, R.V.P. Detecção de *S. aureus* em manipuladores de alimentos: perfil de resistência a antibióticos e quimioterápicos. **Higiene Alimentar**. v. 17, n. 101/105, p. 114-123, 2003.

WATANABE, A.P. **Microfiltração de suco de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) por membrana polimérica: efeito do tratamento enzimático, da velocidade tangencial e da pressão transmembrana**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

WELTI-CHANES, J.; VERGARA-BALDERAS, F.; LOPEZ-MALO, A. Minimally processed foods. State of the art and future. In: FITO, P.; ORTEGA-RODRIGUEZ, E.; BARBOSA-CANOVAS, G.V. **Food Engineering**. 2000. New York: Chapman and Hall, Cap.11, p.181-212, 2000.

YUSOF, S.; SHIAN, L. S.; OSMAN, A. Changes in quality of sugarcane juice upon delayed extraction and storage. **Food Chemistry**, v. 68, p. 395- 401, 2000.

ZEMAN, L.J.; ZYDNEY, A.L. Microfiltration and ultrafiltration: principles and applications. New York: Copyright, 618p. 1996.

CAPÍTULO 2

Microfiltração de caldo de cana adicionado de polpa de maracujá.

RESUMO

A aplicação da microfiltração para clarificação de sucos de frutas tem demonstrado resultados economicamente viáveis. Inúmeros sucos de frutas típicas do Brasil ainda não foram testados neste tipo de processo, visando a sua clarificação e manutenção das características, tanto nutricionais, quanto sensoriais. Dentro desse contexto, esse trabalho objetivou estudar os efeitos dos parâmetros operacionais temperatura, pressão transmembrana e velocidade tangencial no fluxo permeado final durante a microfiltração de caldo de cana-de-açúcar adicionado de polpa de maracujá, através de um Delineamento Composto Central Rotacional 2³. Além disso, o microfiltrado obtido foi caracterizado quanto às características físico-químicas, microbiológicas, reológicas e de cor. Os ensaios foram realizados em uma unidade piloto de filtração utilizando-se uma membrana de fibra oca (poliamida) com diâmetro médio de poros de 0,4 µm e área de filtração de 0,723 m². Os fluxos de permeado final para os ensaios realizados variaram de 7,05 a 17,84 L·h⁻¹·m⁻². Observou-se um rápido declínio (cerca de 50 %) nos instantes iniciais da microfiltração. Além disso, verificou-se que a temperatura e a velocidade tangencial apresentaram um efeito positivo significativo ($p < 0,05$) sobre o fluxo de permeado final, ou seja, quando houve um acréscimo nestes parâmetros o fluxo de permeado final foi maior. A pressão transmembrana não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) no fluxo de permeado final. Os resultados de fluxo de permeado em diversas condições de operação permitiram a análise das resistências ao transporte de massa. A polarização por concentração e da camada gel mostrou-se mais influente no declínio de fluxo, de acordo com a teoria de resistências em série. Os dados obtidos para a construção da curva de permeação foram ajustados ao modelo matemático de Constenla e Lozano, onde se obteve um bom ajuste dos dados experimentais ao modelo. O permeado apresentou-se límpido e sem presença de polpa, apresentando uma tendência a cor amarela. Houve redução nos teores de sólidos totais, proteínas, vitamina C e acidez ($p < 0,05$), enquanto os sólidos solúveis, pH, cinzas e lipídeos não foram alterados ($p > 0,05$). Quanto às propriedades reológicas, tanto o caldo de cana *in natura*, quanto o caldo microfiltrado apresentaram comportamento newtoniano, apresentando índice de comportamento próximo a 1. A análise microbiológica do caldo de cana microfiltrado mostrou uma expressiva redução na contagem microbiana, indicando que este se encontra dentro dos padrões exigidos pela legislação brasileira.

Palavras-Chave: caldo de cana, microfiltração, microfiltrado, resistência, reologia

ABSTRACT

Microfiltration has been demonstrated to be an economically viable process for fruit juice clarification. Although, many fruit juices typical to Brazil have not been tested by this process which verifies clarification and maintenance of both the nutritional and sensory characteristics. Within this context, this study investigated the effects of operational parameters: temperature, transmembrane pressure and crossflow velocity for final permeate flux during the microfiltration of sugarcane juice added to passion fruit pulp through a Central Composite Rotational Design²³. In addition, the microfiltered product was characterized according to physical-chemical, microbiological, rheological and color properties. The tests were performed at a filtration pilot plant, using a hollow-fiber membrane (polyamide) with an average pore diameter of 0.4 μm and a filtration area of 0.723 m^2 . The final permeate flux for the tests ranged from 7.05 to 17.84 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. There was a rapid decline (50%) during the initial stages of microfiltration. Moreover, it was found that the temperature and tangential velocity showed a significant positive effect ($p < 0.05$) on the final permeate flux. Furthermore, if there is an increase in these parameters, the final permeate flux will be higher. As well, the transmembrane pressure does not have a significant effect ($p > 0.05$) on the final permeate flux. The results of permeate flux in various operating conditions permitted the analysis of the resistance of mass transport. The polarization concentration and polarized layer gel was more influential on the flux decline according to series resistance theory. The obtained data for the permeation curve construction was fitted with the mathematical model of Constenla & Lozano, which resulted in a good fit between the experimental data and the models. The permeate was clear and free of pulp, showing a tendency to yellow. There was retention of total solids, protein and vitamin C ($p < 0.05$). While soluble solids, pH and acidity were not affected ($p > 0.05$). As to rheological properties, both the raw sugarcane juice and the microfiltered broth showed newtonian behavior, a rate of behavior close to 1. Microbiological analysis of microfiltered sugarcane juice showed a significant reduction in microbial count. Thus, indicating that this is within the standards required by Brazilian law.

Keywords: sugarcane juice, microfiltration, resistances, rheology.

1 INTRODUÇÃO

O caldo de cana ou garapa é uma bebida nutritiva, energética, não alcoólica, muito popular no Brasil, sendo consumido por pessoas de todas as idades e classes sociais, especialmente nos períodos mais quentes do ano. É obtido por extração em moendas elétricas, podendo ser consumido puro ou adicionado de frutas ácidas (LUBATTI, 1999; OLIVEIRA et al., 2007 PRATI; CAMARGO, 2008). Por ser altamente perecível, o caldo de cana é normalmente consumido *in natura*, sendo comercializado em vias públicas, parques e feiras por vendedores ambulantes.

O crescimento no setor de bebidas, baseado tanto no aumento do volume de produção quanto ao aumento do consumo per capita, tem despertado o interesse da indústria de bebidas para o desenvolvimento de novos tipos de produtos e diversificação das formas de consumo. Além disso, o hábito de consumo de sucos processados está aumentando, motivado pela praticidade oferecida por estes produtos, pela falta de tempo da população para preparar sucos *in natura*, pelo valor nutritivo destes produtos quando comparados a bebidas carbonatadas e pela tendência cada vez maior ao consumo de alimentos e bebidas mais saudáveis (MATSUURA; ROLIM, 2002; CIPOLLA; NEVES; AMARAL, 2002).

A industrialização de produtos alimentícios visa à obtenção de produtos com características sensoriais e nutricionais próximas ao produto *in natura* e que sejam seguros sob o ponto de vista microbiológico. Nas operações de processamento e armazenamento dos sucos de fruta, podem ocorrer várias reações bioquímicas complexas entre os seus constituintes que podem alterar o seu sabor (GAVA, 1985).

Dentre os vários processos de conservação de sucos, os Processos de Separação por Membranas (PSM) são potencialmente atrativos para a clarificação e conservação de sucos de fruta. A microfiltração (MF) permite a utilização de baixas temperaturas (entre 4 a 50 °C), minimizando danos causados pelo calor, como por exemplo a perda de vitaminas e compostos aromáticos, obtendo produtos de alta qualidade. Dentre as várias aplicações sugeridas para a MF encontra-se, também, a remoção de microrganismos permitindo a realização da denominada “pasteurização a frio” (PAFYLIAS et al., 1996; BRANS et al., 2004; LAWRENCE et al., 2008; SAXENA et al., 2009). Além disso, os PSM

são sistemas compactos e de fácil “*scale-up*”, apresentam a possibilidade de emprego em sistemas contínuos e podem ser combinados com outros processos de separação (KELLY et al., 2000).

No entanto, a técnica de membranas, apresenta algumas limitações como a redução de fluxo de permeado ocasionada por mecanismos como a polarização por concentração, a camada gel polarizada e o *fouling* que requerem ainda o desenvolvimento de modelos preditivos, os quais relacionam os materiais ao desempenho e eficiência da separação (BARROS, 2002). O fluxo de permeado (microfiltrado) num processo de MF é de fundamental importância econômica. Assim, são necessários estudos utilizando membranas de diferentes materiais, configurações e diâmetros de poros, variando as condições operacionais, aplicados a uma extensa gama de produtos para se entender como ocorrem os fenômenos e que variáveis neles atuam.

Com bases nessas informações, a proposta desse trabalho foi avaliar o efeito dos parâmetros operacionais temperatura, velocidade tangencial e pressão transmembrana no fluxo de permeado final de caldo de cana adicionado de polpa de maracujá e realizado o ajuste dos dados de fluxo de permeado ao modelo matemático de Constenla e Lozano. Além disso, foram determinadas as resistências ao fluxo de massa durante a microfiltração (MF) e estabelecido um procedimento de limpeza para a membrana. A partir do caldo de cana microfiltrado obtido, avaliaram-se as características físico-químicas, microbiológicas, reológicas e de cor.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O caldo de cana utilizado no processamento foi extraído de canas-de-açúcar (*Saccharum L*) variedade Havaiana, adquiridas de uma cooperativa local de Florianópolis/SC.

A polpa congelada de maracujá amarelo (*Passiflora edulis*) foi adquirida da DeMarchi Indústria e Comércio de Frutas Ltda, Jundiá/SP - Brasil.

O detergente enzimático (DE), contendo pectinase, carboidrase, lipase e celulase, utilizado na limpeza das membranas, foi gentilmente cedido pela Luckmann Indústria e Comércio de Produtos Ltda.

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico (P.A.).

2.2 Preparo da bebida

Após o descascamento e higienização da cana, foi realizada a extração do caldo em moenda elétrica, construída em aço inoxidável (Maqtron - Joaçaba/SC, Brasil), ao qual foram adicionados 5% (v/v) de polpa de maracujá pasteurizada. A escolha desta concentração foi norteadada por estudos desenvolvidos por Prati (2004), que verificaram ser esta concentração a mais indicada do ponto de vista sensorial. A adição da polpa de maracujá foi feita imediatamente após a extração do caldo para minimizar as reações de escurecimento enzimático com o abaixamento do pH.

2.3 Microfiltração (MF)

O caldo de cana *in natura* adicionado de 5 % de polpa de maracujá (caldo acidificado) foi microfiltrado em uma planta piloto com controle de temperatura, pressão e velocidade tangencial (Figura 1). Utilizou-se membrana orgânica, de poli(imida), tipo fibra oca, com tamanho médio de poros de $0,4 \mu\text{m}$, e área filtrante útil de $0,7 \text{ m}^2$ (MF-1, PAM Membranas Seletivas, Rio de Janeiro - Brasil).



Figura 1 Fotografia da unidade piloto de microfiltração utilizada nos experimentos.

2.3.1 Estudo dos parâmetros operacionais

O estudo do processo de MF do caldo de cana foi realizado através de um Delineamento Central Composto Rotacional 2^3 (DCCR) (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001) constituído por oito ensaios lineares nos níveis -1 e +1, quatro ensaios axiais ($\alpha=1,6818$) e três ensaios no ponto central, totalizando 17 experimentos, como pode ser observado na Tabela 1. As variáveis independentes foram: pressão transmembrana (P_t) (bar), velocidade tangencial (V_t) ($m \cdot s^{-1}$) e temperatura (T) ($^{\circ}C$), sendo seus níveis e codificação apresentados na Tabela 2. Estes níveis foram definidos a partir dos dados disponíveis na literatura, para produtos similares conforme proposto por Nogueira e Venturini Filho (2007) e Carvalho, Castro e Silva (2008), e também de acordo com os limites técnicos do equipamento de MF. Foi obtido como resposta para a escolha dos parâmetros de MF o fluxo permeado final (J_f) ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$).

Tabela 1 Matriz do Delineamento 2^3 com variáveis codificadas.

Ensaio	X_1	X_2	X_3
1	(+1)	(+1)	(+1)
2	(3-1)	(+1)	(+1)
3	(+1)	(-1)	(+1)
4	(-1)	(-1)	(+1)
5	(+1)	(+1)	(-1)
6	(-1)	(+1)	(-1)
7	(+1)	(-1)	(-1)
8	(-1)	(-1)	(-1)
9	(0)	(0)	(0)
10	(0)	(0)	(0)
11	(0)	(0)	(0)
12	(+1,6818)	(0)	(0)
13	(-1,6818)	(0)	(0)
14	(0)	(+1,6818)	(0)
15	(0)	(-1,6818)	(0)
16	(0)	(0)	(+1,6818)
17	(0)	(0)	(-1,6818)

Tabela 2 Codificação e valores reais das variáveis utilizadas no Delineamento Central Composto Rotacional 2³.

Níveis	X_1 Pressão (bar)	X_2 Velocidade (m.s ⁻¹)	X_3 Temperatura (°C)
-1,6818	4,68	0,36	46,68
-1	2	0,49	25
0*	3	0,68	35
+1	4	0,87	45
+1,6818	1,32	1,00	13,2

* Ponto central

2.3.2 Cálculo do fluxo de permeado (J)

O fluxo permeado (J) (L·h⁻¹·m⁻²) durante a MF foi determinado em intervalos de cinco minutos e calculado de acordo com a Equação 1, obtendo-se para cada ensaio uma curva de fluxo de permeado em função do tempo.

$$J = \frac{V_p}{tA_p} \quad (1)$$

Onde: V_p é o volume de permeado obtido no tempo t e A_p é a área de permeação.

2.3.3 Procedimento experimental

Em cada ensaio, seis litros de caldo acidificado foram adicionados ao tanque de alimentação, variando-se os parâmetros operacionais de acordo com o planejamento experimental.

Antes de iniciar os ensaios do planejamento experimental com a membrana nova e completamente limpa, coletou-se o valor de fluxo de permeado utilizando-se água filtrada (J_w). Utilizou-se um valor fixo de Pt de 1,0 bar, Vt de 0,8 m·s⁻¹ e T de 45 °C. O valor obtido para o fluxo de permeado foi utilizado como referência para verificar a condição da membrana após o uso e a limpeza. Foi coletado o volume de permeado durante 1 min, em intervalos regulares de tempo e, ao final de cada ensaio, foram coletadas amostras do permeado para análise.

2.3.4 Limpeza da membrana

Ao final de cada experimento foi realizada a limpeza da membrana, segundo especificações do fabricante, para evitar aderência de componentes do suco na superfície filtrante e permitir a recuperação da permeação inicial.

Inicialmente, o equipamento foi enxaguado por 40 minutos para retirada do excesso de solutos retidos na superfície da membrana. Em seguida, fez-se a leitura de fluxo de água pela membrana com *fouling* (J_{wf}) a 45 °C. Na sequência realizou-se a limpeza química - ácida e alcalina e enzimática da membrana, de acordo com os procedimentos detalhados nos fluxogramas da Figura 2. A higienização foi feita com hipoclorito de sódio.

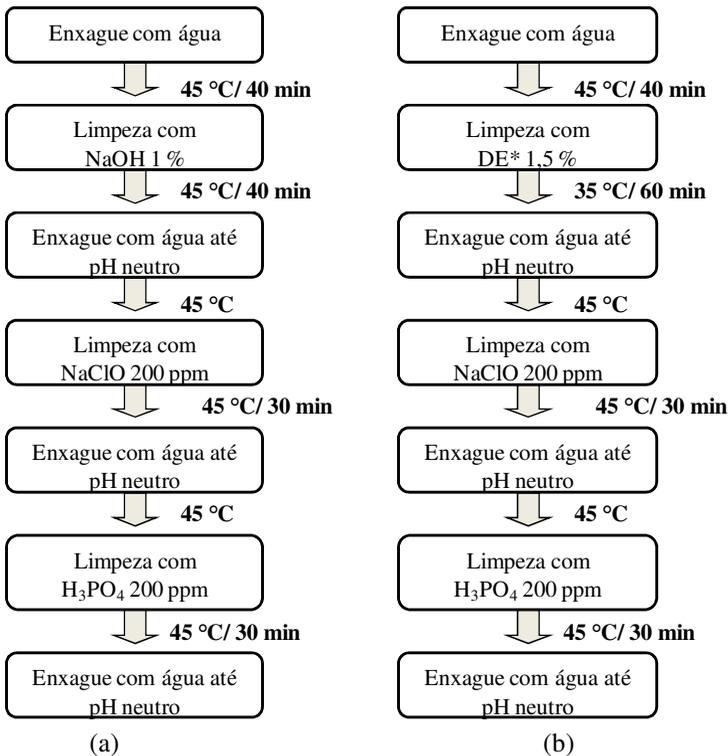


Figura 2 (a) Fluxograma do Procedimento 1 - Limpeza com NaOH (1 %), NaClO (200 ppm) e H₃PO₄ (200 ppm); (b) Fluxograma do Procedimento 2 - Limpeza com DE (1 %), NaClO (200 ppm) e H₃PO₄ (200 ppm)

Entre cada uma das etapas de limpeza a membrana foi enxaguada com água filtrada a 45 °C até neutralização do pH. Após a limpeza foi verificada a eficiência do processo através do fluxo permeado. Quando necessário um novo ciclo de limpeza era realizado.

2.3.5 Cálculo das resistências em série

O cálculo da resistência total R_T , foi realizado utilizando-se o valor de fluxo final (J_f), o valor da viscosidade do permeado (μ_p) e a pressão transmembrana (P_t) utilizada no experimento (Equação 2).

$$J_f = \frac{P_t}{\mu_p \cdot (R_T)} \Rightarrow R_T = \frac{P_t}{\mu_p (J_f)} \quad (2)$$

A resistência da membrana (R_M) foi calculada utilizando o valor de viscosidade da água (μ_w) e do valor de fluxo medido com água no início do experimento, com a membrana limpa (J_w), conforme a equação descrita em (3).

$$J_w = \frac{P_t}{\mu_w \cdot (R_M)} \Rightarrow R_M = \frac{P_t}{\mu_w (J_w)} \quad (3)$$

A resistência devida ao *fouling* (R_F) foi determinada pela Equação (4), utilizando fluxo de água filtrada que passa pela membrana após o processamento e retirada da camada polarizada por meio de enxágüe (J_{wf}).

$$J_{wf} = \frac{P_t}{\mu_w (R_M + R_F)} \Rightarrow R_F = \frac{P_t}{\mu_w (J_{wf})} - R_M \quad (4)$$

Como a R_T é a soma das resistências R_M , R_F e R_P , a resistência causada pela polarização da concentração e pela camada gel polarizada (R_P) foi obtida por diferença.

$$R_T = R_M + R_F + R_P \Rightarrow R_P = R_T - R_M - R_F \quad (5)$$

2.3.6 Ajuste ao modelo de Constenla e Lozano (1997)

Os dados experimentais de fluxo de permeado foram ajustados ao modelo matemático de Constenla e Lozano (1997), descrito pela Equação 6. O programa computacional *Statistica* 7.0 foi utilizado para fazer a regressão dos dados experimentais ao modelo matemático, obtendo-se o valor da taxa de declínio de fluxo “ λ ” e os coeficientes de regressão (R^2).

$$J = J_f + (J_i - J_f)e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Onde: J_f é o fluxo final, J_i o fluxo inicial, λ a taxa de declínio e t é o tempo de filtração.

2.4 Análises físico-químicas

O caldo de cana puro, o caldo acidificado e o microfiltrado (permeado) foram analisados quanto aos teores de sólidos totais ($\text{g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) através da secagem das amostras até peso constante (IAL, 2005; p. 473); ao teor lipídico ($\text{g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) por Soxhlet (IAL, 2005; p. 119); ao resíduo mineral fixo ($\text{g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) por incineração em mufla (IAL, 2005; p. 105); umidade ($\text{g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) por dessecação em estufa (IAL, 2005; p. 473); acidez titulável (mg ácido cítrico $\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) por titulação com NaOH e indicador fenolftaleína (IAL, 2005); açúcares não-redutores (IAL, 2005; p.474) e vitamina C (mg ácido cítrico $\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) por titulação com solução de KI (iodeto de potássio) e indicador solução de amido (IAL, 2005). As proteínas totais ($\text{g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) foram determinadas pelo método de Kjeldahl ($N \times 6,25$) (991.20) (AOAC, 2005). Os carboidratos totais foram determinados por diferença e o valor calórico das amostras foi calculado pelos fatores de conversão de acordo com o método proposto pela RDC 360 (BRASIL, 2003). As medidas dos valores de pH foram realizadas a 25 °C em potenciômetro (QUIMIS Q 400A) e os sólidos solúveis (°Brix) foram determinados através da leitura em refratômetro à 20 °C (QUIMIS Q767A1).

2.5 Análises microbiológicas

Amostras de caldo de cana acidificado *in natura* e do microfiltrado foram submetidas à contagem de bactérias lácticas, bolores e leveduras, coliformes a 45 °C, mesófilos e *Salmonella sp.* como descrito na metodologia da APHA (2001). As amostras em duplicatas (500 mL de cada um) foram recolhidas e transportadas sob condições refrigeradas (4 ± 1 °C) e analisadas imediatamente. As amostras foram misturadas em soluções de água peptonada estéril e diluídas em séries decimais adequadas para posteriormente serem inoculadas em meios específicos.

2.6 Análise reológica

As medidas reológicas dos caldos de cana *in natura* puro e acidificado, e do caldo microfiltrado foram conduzidas em viscosímetro rotacional Thermo Haake DC 10 (modelo VT 550, Thermo Haake, Karlsruhe, Alemanha), com cilindros concêntricos (NV ST 807-0713 CE e NV 807-0702). Os dados foram coletados através do software Pro Rheowin[®] (versão 2.93). As análises reológicas foram obtidas com variação da taxa de deformação de 0 a 1800 s⁻¹ (curva ascendente) e de 1800 a 0 s⁻¹ (curva descendente), com um tempo de 5 minutos para cada curva. As medidas foram feitas nas temperaturas de 10, 15, 25, 35, 45 e 50 ± 0,1 °C, através de circulação da água em um banho com controle de temperatura e acoplado ao equipamento (Phoenix P1, Thermo Haake, Karlsruhe, Alemanha). As leituras foram feitas em duplicata, sendo que em cada medida foi usada uma nova amostra.

O comportamento de escoamento foi descrito pelo modelo de Newton (Equação 7) e Lei da Potência (Equação 8)

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (7)$$

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (8)$$

Onde: τ é a tensão de cisalhamento (N·m⁻² ou Pa); μ a viscosidade absoluta ou dinâmica (Pa·s); $\dot{\gamma}$ a taxa de deformação (s⁻¹); K o índice de consistência (Pa·sⁿ); e n o índice de comportamento (adimensional).

2.7 Análise de cor

As medidas de cor dos sucos foram realizadas com um colorímetro Minolta Chroma Meter CR-400 (Minolta®, Japão), previamente calibrado. O colorímetro foi ajustado para operar com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. Foram obtidos os valores de luminosidade (L^*), intensidade da cor vermelha (a^*) e intensidade da cor amarela (b^*) (FERREIRA, 2004).

2.8 Análise dos resultados

Os resultados do planejamento experimental foram avaliados pela metodologia de superfície de resposta (MSR) e análise de resíduos (ANOVA), obtidos através do *software* STATISTICA versão 7.0. As médias, o desvio padrão, a análise de variância e o teste de Tukey (5 % de significância) também foram analisados pelo mesmo *software*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Microfiltração

Na Figura 3 pode-se visualizar o comportamento do fluxo (J) em função do tempo. Observa-se que a queda no fluxo em função do tempo de operação do sistema se ajusta a uma curva exponencial, típica de processos de micro e ultrafiltração.

A redução do fluxo permeado pode ser explicada devido à polarização por concentração, a incrustação e/ou bloqueio dos poros da membrana e o aumento da concentração de sólidos do suco no retentado (CARNEIRO et al., 2002). Segundo Habert, Borges e Nóbrega (2006) na operação de escoamento tangencial é comum a queda inicial nos valores de J com posterior estabilidade no decorrer do processo.

Os resultados mostram a queda do o fluxo de permeado, que ocorre tradicionalmente com maior intensidade nos instantes iniciais do processo, conforme também observado por Marshall e Daufin (1995).

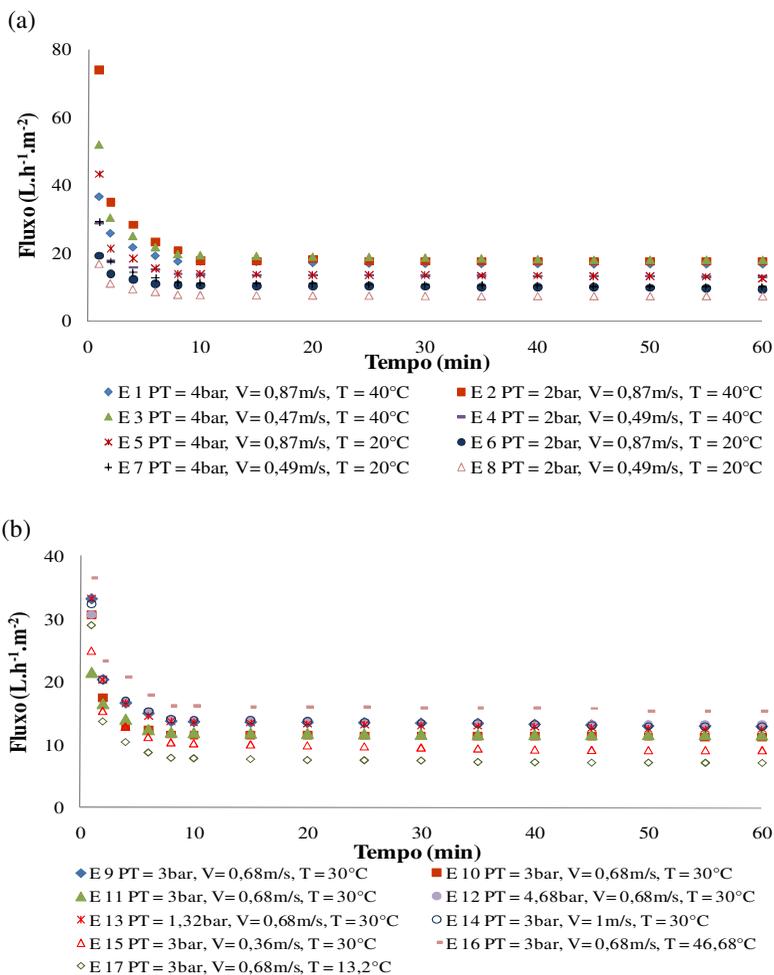


Figura 3 Comportamento do fluxo do permeado (J) durante a microfiltração de caldo de cana adicionado de polpa de maracujá (a) para os ensaios 1 a 8; (b) para os ensaios 9 a 17.

Nos melhores resultados (Exp 2 e 3) os valores iniciais de fluxo medido no tempo de 1 min (J_i), foram de $73,86 L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ (exp 2) e $51,87 L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ (exp 3). No decorrer dos primeiros minutos do processo, observa-se que houve redução de mais de 55 % do fluxo inicial, caracterizando a influência da polarização da concentração e formação

da camada gel representada pelo estágio 1 da curva de fluxo de Marshall e Daufin (1995). Em se tratando de produtos alimentícios líquidos, os principais compostos formadores da camada de gel na superfície das membranas são as proteínas, carboidratos e lipídios, podendo, também, estes serem de natureza microbiológica. Segundo Petrus (1997), de maneira geral, a resistência oferecida pela camada gel ao fluxo de solvente será tanto maior quanto maior for a massa molar da substância formadora do gel, quanto maior sua interação com a membrana, quanto menor a porosidade e maior área específica deste depósito.

De acordo com Baker (2004), a queda de fluxo e a incrustação nas membranas de MF geralmente ocorrem mais rapidamente do que nas membranas de UF e NF. Como os diâmetros de poro das membranas de MF são maiores, há entrada de partículas de várias dimensões, contribuindo para o aumento da incrustação.

Fenômeno semelhante ocorreu durante a MF de camu camu, onde se obteve uma redução de fluxo em torno de 70 % no final do processo, utilizando-se membrana tubular, com área de permeação de $0,05 \text{ m}^2$ e tamanho de poro de $0,3 \mu\text{m}$ (RODRIGUES, 2002).

Durante a MF de suco de abacaxi também foi possível perceber esse fenômeno. No início do processamento foram atingidos fluxos em torno de $232 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, sendo que após 5 min de processamento houve uma redução de 52 % neste parâmetro. O fluxo médio acumulado após 15 min de processo foi de $100 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ (CARNEIRO et al., 2002)

O segundo estágio de declínio do fluxo, para ambos os ensaios, inicia-se em tempo aproximado entre 2 a 5 min. De acordo com Marshall e Daufin (1995), esta etapa é caracterizada pelo fenômeno da incrustação. É possível observar que a queda do fluxo do segundo estágio dos experimentos é menos acentuada, quando comparada ao primeiro estágio (primeiros minutos do processo).

Outros autores como Barros (2002), Carneiro et al. (2002), Jegatheesan et al., (2009) e Cassano, Conidi e Drioli (2010), que estudaram o processo de clarificação dos sucos de abacaxi e acerola, abacaxi, caldo de cana e pêra, respectivamente, também descreveram comportamento semelhante. Após 15 min de processo, ocorreu uma queda de fluxo a uma taxa praticamente constante até o final do experimento, correspondendo à etapa de consolidação do *fouling*.

3.2 Efeito dos parâmetros operacionais no fluxo de permeado final (J_f)

Para identificar a influência dos fatores e as condições ideais para a MF de caldo de cana acidificado, aplicou-se um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) 2^3 com a adição de pontos axiais. Foi possível avaliar os efeitos absolutos dos parâmetros testados (Pt , Vt e T) sobre o fluxo permeado final (J_f), gerando modelo de predição e possibilitando a avaliação dos efeitos lineares e quadráticos de interação entre as variáveis independentes. A Tabela 3 apresenta a matriz do DCCR 2^3 (valores reais e codificados) para as variáveis independentes e para os valores do J_i (fluxo permeado inicial) e da resposta J_f .

Tabela 3 Delineamento experimental 2^3 com os valores reais e codificados das variáveis independentes e os valores obtidos para o fluxo inicial (J_i) e a resposta fluxo final (J_f).

Exp	X_1 P (bar)	X_2 V (m.s ⁻¹)	X_3 T (°C)	J_i (L.h ⁻¹ .m ⁻²)	J_f (L.h ⁻¹ .m ⁻²)
1	4 (+1)	0,87 (+1)	45 (+1)	36,56	16,60
2	2 (-1)	0,87 (+1)	45 (+1)	73,86	17,43
3	4 (+1)	0,49 (-1)	45 (+1)	51,87	17,84
4	2 (-1)	0,49 (-1)	45 (+1)	28,63	12,86
5	4 (+1)	0,87 (+1)	25 (-1)	43,15	12,45
6	2 (-1)	0,87 (+1)	25 (-1)	19,09	9,13
7	4 (+1)	0,49 (-1)	25 (-1)	29,05	9,96
8	2 (-1)	0,49 (-1)	25 (-1)	16,60	7,05
9	3 (0)	0,68 (0)	35 (0)	33,20	12,86
10	3 (0)	0,68 (0)	35 (0)	30,70	11,20
11	3 (0)	0,68 (0)	35 (0)	30,70	11,62
12	4,68 (+1,6818)	0,68 (0)	35 (0)	30,71	13,28
13	1,32 (-1,6818)	0,68 (0)	35 (0)	33,19	12,45
14	3 (0)	1,00 (+1,6818)	35 (0)	32,47	12,86
15	3 (0)	0,36 (-1,6818)	35 (0)	24,90	9,13
16	3 (0)	0,68 (0)	46,6 (+1,6818)	36,52	15,35
17	3 (0)	0,68 (0)	13,2 (-1,6818)	29,05	7,05

Sabe-se que, do ponto de vista do produtor, a viabilidade econômica e a eficiência da clarificação por membranas é avaliada principalmente pelos valores de fluxo de permeado. Além disso, o controle do fluxo é relevante, porque valores elevados indicam redução no tempo de processamento, resultando em um microfiltrado de melhor qualidade. Assim como o afirmado por Gésan-Guiziou, Boyaval e Daufin (1999), ao melhor fluxo permeado, credita-se uma melhor eficiência do processo.

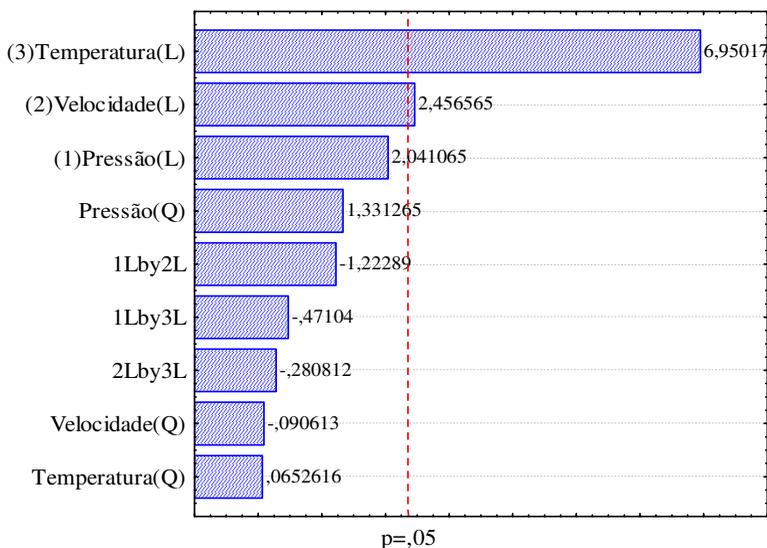
De acordo com a Tabela 3 os valores de J_f , após 60 min de processamento, variaram de 17,84 a 7,05 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Comportamento similar foi encontrado por Barato (2008) durante a MF de suco de caju, onde foram encontrados J_f na ordem de 19 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ utilizando-se membranas poliméricas de PES (polietersulfona) e PVDF (polivinildifluoreto). Segundo Burrell e Reed (1994) e Ing (1995) taxas de fluxos economicamente aceitáveis estão situados entre 10 e 100 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ e normalmente são baseadas em experimentos que utilizam reciclo total. O alto conteúdo de carboidratos presente no caldo de cana pode explicar, em parte, os baixos fluxos encontrados. Os carboidratos são potenciais causadores de *fouling* em processos que utilizam membranas. (GAN, 2001).

Jegatheesan et al. (2009) também estudaram a microfiltração de caldo de cana e encontraram J_f na ordem de 44 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ em membrana cerâmica em velocidade tangencial de 3 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ e temperatura de 60 °C. Estes valores são elevados quando comparados com os obtidos nestes experimentos. Entretanto, no trabalho anterior, o produto foi submetido a um pré-tratamento com $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para a floculação das partículas, além de utilizar T mais altas, resultando em diminuição da viscosidade e do teor de polpa. Conseqüentemente houve redução da incrustação, levando a maiores fluxos permeados.

Para membranas com mesmos diâmetros médios de poros, o fluxo pode variar em função da natureza do produto, do tipo de membrana e das condições operacionais do processo. Comparando os fluxos permeados encontrados neste trabalho a outros estudos que utilizaram membranas de diâmetro de poro próximo ao deste estudo, encontraram-se valores entre 190 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ na microfiltração de suco de maçã na qual foi utilizada membrana cerâmica de poro 0,2 μm , nas condições de velocidade tangencial de 8 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, pressão transmembrana de 4,1 bar e temperatura de 50 °C (FUKUMOTO; DELAQUIS; GIRARD, 1998); 5 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ na microfiltração de suco de laranja, utilizando membrana tubular de poro 0,3 μm , à velocidade tangencial de

$6,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, pressão transmembrana entre 0,3 e 1,5 bar e temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (VENTURINI FILHO; DORNIE; BELLEVILLE, 2003).

Através do gráfico de Pareto, apresentado na Figura 4, verifica-se que as variáveis que apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) sobre o J_f , foram a temperatura (L = linear) e a velocidade tangencial (L). O efeito estimado indica o quanto cada fator influenciou na resposta estudada, pois quanto maior o seu valor, maior é a sua influência. Para o parâmetro linear, um efeito positivo indica que o aumento da variável provoca um aumento na resposta. O efeito negativo, para o parâmetro linear, mostra que com um aumento da variável ocorre a diminuição na resposta. A contribuição dos efeitos lineares foi positiva, indicando que quando ocorre incremento de temperatura e velocidade tangencial, os valores de J_f aumentam. Pode-se observar, ainda, um destacado efeito da variável temperatura sob o processo.



(L) linear (Q) quadrático

Figura 4 Gráfico de Pareto indicando os efeitos significativos dos parâmetros avaliados durante a microfiltração do caldo de cana ($p < 0,05$).

O efeito positivo da temperatura de processo sobre o J_f é esperado, uma vez que o seu aumento tende a reduzir a viscosidade do suco e aumentar a sua difusividade, auxiliando o escoamento próximo à superfície através da camada de gel e da própria membrana (CHERYAN, 1998). Além disso, a temperatura afeta a mobilidade das cadeias poliméricas da membrana, tornando o material polimérico mais flexível, permitindo que espécies maiores permeiem a membrana (BARROS, 2002; GOOSEN et al., 2002). Assim, o aumento da temperatura, dentro de certos limites, resulta em aumento do fluxo permeado. Entretanto, a variação da temperatura da corrente de alimentação deve ser criteriosa, evitando-se a degradação ou perda de nutrientes, mas ao mesmo tempo, facilitando as condições de processamento e transporte do fluido. O limite de temperatura também deve ser sempre estabelecido em função da termoresistência da membrana e dos aspectos econômicos inerentes ao consumo de energia (FREITAS, 1995).

Em estudo realizado por Clareto (2007), a influência do parâmetro temperatura foi evidente durante a microfiltração de suco de goiaba em membranas com diâmetro de poro de 0,2 μ m. Quando aplicada temperaturas baixas (20 °C) houve uma redução de fluxo em torno de 20 %.

O aumento de fluxo gerado por maiores temperaturas também foi verificado por He, Ji e Li (2007) na microfiltração de suco de maçã. O aumento da temperatura de processamento de 23 °C para 50 °C resultou num acréscimo de 30 % no fluxo. Comportamento similar foi reportado por Nogueira e Venturini Filho (2005) na microfiltração de suco acerola, Wanga, Wei e Yu (2005) na MF de cereja, e Kaster (2009) na MF de suco de maçã.

O efeito positivo da velocidade tangencial no J_f , que também pode ser verificado na Figura 4, deve-se ao fato de que este parâmetro gera uma força de cisalhamento na superfície da membrana, diminuindo a formação da camada polarizada, além da turbulência gerada aumentar a transferência de massa, resultando em maiores fluxos (JIRATANANON; CHANACHAI, 1996). Porter (1990) afirma que altos valores de velocidade tangencial tendem a prevenir o *fouling* e facilitam o processo de limpeza. No entanto, o aumento da velocidade tangencial requer aumento nos gastos com energia, devendo-se, portanto, avaliar o ponto ótimo.

Ushikubo, Watanabe e Viotto (2007) microfiltraram a polpa de umbu diluída (1:2 em água) a 35 °C, em sistema polimérico (tamanho de poro de 0,2 µm) e avaliaram a influência da Pt , do pré-tratamento com enzima e da velocidade tangencial sobre o fluxo. A velocidade tangencial foi a principal variável responsável pelo aumento do fluxo de permeado. Entretanto, o tratamento enzimático também teve um efeito positivo, sendo também observado o sinergismo entre as variáveis.

O aumento no fluxo de permeado com a velocidade tangencial foi observado também em diversos trabalhos, como na ultrafiltração de suco de maçã (PETRUS, 1997; FUKUMOTO; DELAQUIS; GIRARD, 1998; VLADISAVLJEVI et al., 2003), de sucos de cenoura, laranja e limão (CASSANO et al., 2003), e na microfiltração de suco de maracujá (VAILLANT et al. 1999), de caseína (FERREIRA, 2004), de tamarindo (WATANABE; USHIKUBO; VIOTTO, 2006.) e de umbu (USHIKUBO; WATANABE; VIOTTO, 2007).

A pressão transmembrana, nas condições estudadas, não influenciou o J_f ($p > 0,05$). Segundo Habert, Borges e Nóbrega (2006) para condições de baixa pressão transmembrana, um aumento na pressão resulta no aumento de fluxo permeado. A partir de determinado valor de pressão transmembrana, qualquer aumento corresponde a um aumento equivalente na resistência ao transporte através da membrana, ou seja, maior espessura da camada de gel. Assim, o fluxo permeado permanece inalterado com o aumento da pressão transmembrana. Além disso, utilizando valores mais baixos de pressão transmembrana, tem-se um fluxo inicial mais baixo, mas que é mantido com o tempo (PORTER, 1990). De acordo com Cheryan (1998), o aumento da pressão transmembrana tende a aumentar o fluxo até a consolidação da camada gel, após a qual o fluxo se torna independente da pressão, apenas aumentando a espessura ou a densidade da camada. Desta forma o uso de baixas pressões transmembrana, além de garantir maiores fluxos durante o processo, reduz o gasto energético provocado neste caso pela maior potência da bomba requerida.

Diversos trabalhos são encontrados na literatura relatando que um aumento inicial da pressão transmembrana leva a um aumento do fluxo até um valor limite, quando ocorre a consolidação da camada polarizada e do *fouling* (MATTA; CABRAL; MORETTI, 2000; VENTURINI FILHO; DORNIER; BELLEVILLE, 2003; CHO; LEE; KIM, 2003; WATANABE; USHIKUBO; VIOTTO, 2006; USHIKUBO; WATANABE; VIOTTO, 2007; HE, JI E LI, 2007 e JEGATHEESAN et al., 2009).

De acordo com o constatado através da análise do gráfico de Pareto, a Tabela 4 apresenta a análise de variância (ANOVA) das variáveis estudadas através do planejamento DCCR 2³, evidenciando que os efeitos lineares da temperatura e velocidade tangencial foram significativos a um nível de confiança de 95 % sobre o J_f ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$).

Tabela 4 Análise de Variância (ANOVA) para as variáveis estudadas.

	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	p
(1) Pressão (L)	10,1540	1	10,1540	4,16595	0,080586
Pressão (Q)	4,3197	1	4,3197	1,77227	0,224820
(2) Velocidade(L)	14,7088	1	14,7088	6,03471	0,043685
Velocidade(Q)	0,0200	1	0,0200	0,00821	0,930339
(3) Temperatura(L)	117,7372	1	117,7372	48,30497	0,000221
Temperatura(Q)	0,0104	1	0,0104	0,00426	0,949790
(1)L x (2)L	3,6450	1	3,6450	1,49546	0,260940
(1)L x (3)L	0,5408	1	0,5408	0,22188	0,651939
(2)L x (3)L	0,1922	1	0,1922	0,07886	0,786973

Observa-se através da Figura 5 que os dados experimentais se ajustaram ao modelo gerado, uma vez que os erros estão independentes e normalmente distribuídos em torno da linha de tendência caracterizando uma “*distribuição normal*”. O coeficiente de determinação (R^2) obtido para o modelo foi de 0,9023, evidenciando que este explicou aproximadamente 90 % da variação dos dados experimentais.

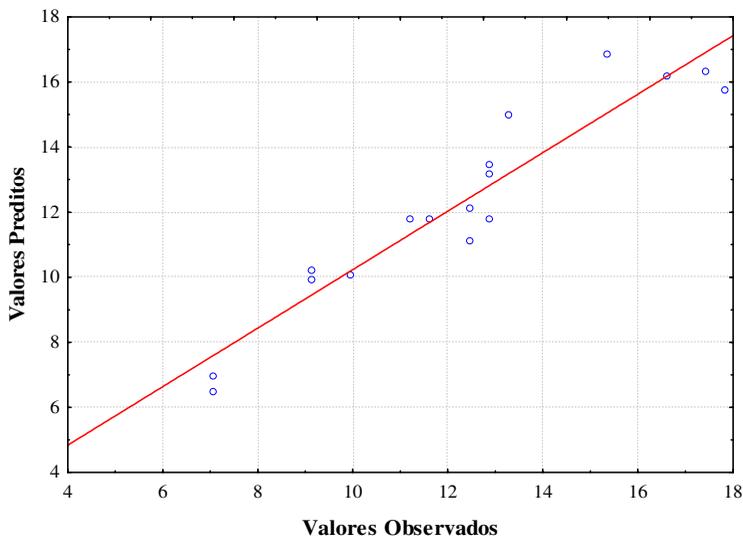


Figura 5 Distribuição dos dados (valores) preditos pelo modelo (-) e aqueles observados no experimento (o).

A equação 7 apresenta o modelo estatístico preditivo que relaciona o J_f ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$) às variáveis significativas, temperatura (T) e velocidade tangencial (V_t).

$$J_f = 12,301 + 1,038T + 2,936V_t \quad (7)$$

A validação do modelo estatístico descrito pela equação 7 é fundamentada na análise de variância do processo, que está apresentada na Tabela 5. Observa-se que a regressão linear foi significativa a um nível de confiança de 95 %, apresentando um valor de $p=0,004$. Para que um modelo estatístico tenha validade deve possuir um coeficiente de correlação elevado e um quociente entre o $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} superior a 3 vezes (BRUNS, 2003). A Tabela 5 mostra que o quociente entre $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} (28,72/6,59) foi de aproximadamente 4 vezes. O valor de F valida a significância do modelo, que deve ser considerado apenas nas faixas estudadas, ou seja, temperatura entre 13,2 a 46,6 °C e velocidade tangencial entre 0,36 e 1,0 $m \cdot s^{-1}$.

Tabela 5 Análise de variância (ANOVA) para a resposta J_f .

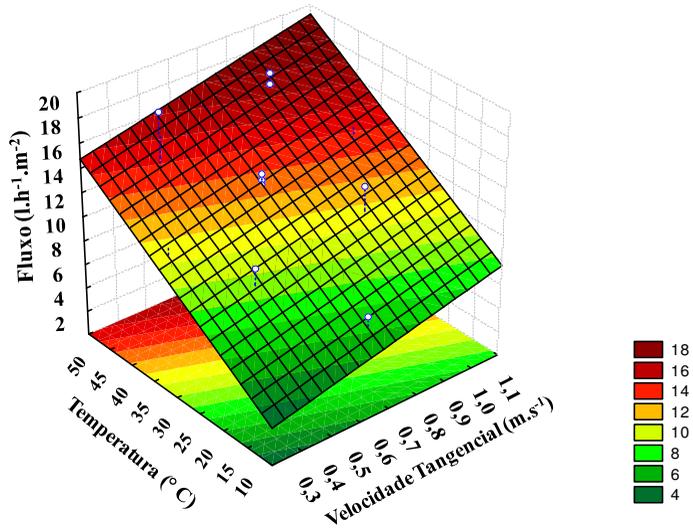
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}	P
Regressão Linear	3	50,55	16,85	28,72	6,59	0,004
Erro residual	4	2,34	0,59			
Falta de ajuste	2	0,86	0,43	0,57		0,635
Erro Puro	2	1,49	0,74			
Total	13	77,65				

A Figura 6 (a) e (b) apresentam as superfícies de resposta do J_f em função da temperatura e da velocidade tangencial, com pressão fixa em 2 bar. As superfícies de resposta e de contorno confirmam a análise de efeitos com uma região de máximo, permitindo a visualização da variação da resposta para cada parâmetro significativo estudado (temperatura e velocidade tangencial). Observa-se, claramente, a tendência ao aumento do fluxo de permeado a maiores temperaturas e velocidades tangenciais. Verifica-se que a região onde ocorrem os J_f mais altos corresponde à faixa de temperatura e velocidade tangencial próxima a seus níveis superiores (+1).

Nesse caso, de acordo com as superfícies apresentadas, não foi possível encontrar as condições ótimas por derivação matemática do modelo, visto que dentro da faixa estudada para cada parâmetro, não foi obtido ponto de inflexão nas superfícies de resposta em função das limitações técnicas do módulo de microfiltração utilizado no experimento. A utilização de altas temperaturas não seria conveniente já que se pretende neste trabalho estudar um método alternativo aos processos térmicos.

A partir dos resultados obtidos para o J_f e da análise dos efeitos das variáveis estudadas, para a realização das demais análises (análises físico-químicas, microbiológicas, reológicas e cor), optou-se pela dinâmica de filtração que de acordo com o planejamento DCCR 2³, oferece os melhores resultados para J_f (temperatura de 45 °C; velocidade tangencial de 0,87 m·s⁻¹ e pressão transmembrana de 2 bar).

(a)



(b)

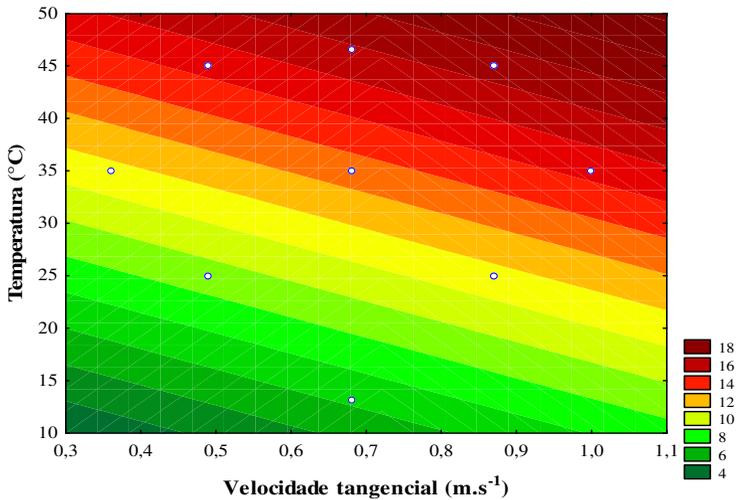


Figura 6 (a) superfície de resposta - influência dos fatores (temperatura e velocidade) na microfiltração de caldo de cana acidificado; (b) superfície de contorno com vista superior.

3.3 Limpeza das membranas

Para se estabelecer o procedimento mais adequado de limpeza da membrana, utilizaram-se dois tratamentos empregando hidróxido, hipoclorito de sódio e ácido no primeiro tratamento e detergente enzimático, hipoclorito de sódio e ácido fosfórico, no segundo tratamento.

Os ciclos foram sempre realizados a velocidade tangencial de $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e a pressão transmembrana próxima a $0,5 \text{ bar}$, para promover maior força de arraste na superfície da membrana e mínimo efeito de compactação dos resíduos. A temperatura utilizada na etapa de solução enzimática foi de $35 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo esta indicada como ótima pelo fabricante do detergente enzimático (DE). Após a limpeza foi verificada a eficiência do processo, e quando necessário, um novo ciclo de limpeza foi realizado.

Os procedimentos, bem como os valores de fluxo de água pura anterior (J_W) e posterior (J_{Wf}) ao experimento e depois da limpeza (J_{WL}) estão escritos na Tabela 6.

Tabela 6 Procedimentos de limpeza da membrana e permeabilidade hidráulica antes (J_W) e depois (J_{Wf}) do experimento, e após a limpeza (J_{WL}).

	J_W ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)	J_{Wf} ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)	Agente	Concentração	T ($^\circ\text{C}$)	t (min)	J_{WL} ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)
1	95	10	NaOH	1 %	45	40	40
			NaClO	200 ppm	45	30	78
			H ₃ PO ₄	200 ppm	45	30	91
2	141	13	DE*	1,5 %	35	60	55
			NaClO	200 ppm	45	30	103
			H ₃ PO ₄	200 ppm	45	30	116

*DE = detergente enzimático

**Todos os fluxos foram tomados na condição padrão $T = 45^\circ\text{C}$, $V_t = 0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $Pt = 1,0 \text{ bar}$, utilizando água filtrada.

Através das Figuras 7 (a) e (b) verificou-se que tanto a solução de detergente enzimático quanto a solução de NaOH apresentaram efeitos positivos na limpeza da membrana, recuperando cerca de 40 % do fluxo inicial. A limpeza somente com NaOH e detergente enzimático não foi

suficiente, sendo necessário incluir as etapas posteriores com NaClO e H_3PO_4 . Após a inclusão da limpeza com NaClO obteve-se um retorno de fluxo de aproximadamente 82 e 73 % para o procedimento 1 e 2 respectivamente. O uso de H_3PO_4 contribuiu na limpeza elevando o fluxo permeado e, recuperando ao final das etapas, 96 % do fluxo inicial para o procedimento 1 e 82 % para o procedimento 2.

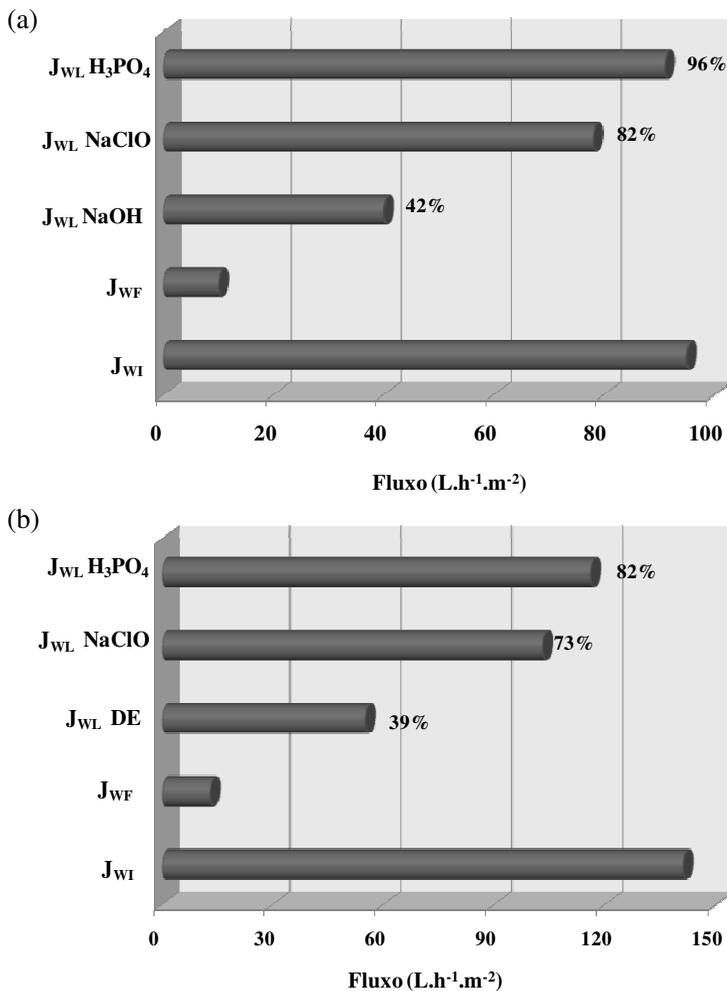


Figura 7 (a) Recuperação de fluxo após cada etapa de limpeza para o Procedimento 1 [NaOH (1 %), NaClO (200 ppm) e H_3PO_4 (200 ppm)];

(b) Recuperação de fluxo após cada etapa de limpeza para o Procedimento 1 [DE (1,5 %), NaClO (200 ppm) e H₃PO₄ (200 ppm)].

Acredita-se que a limpeza alcalina (NaOH) e enzimática (DE) eliminaram parte importante da matéria orgânica (proteínas e polissacarídeos), entretanto a recuperação do fluxo foi baixa relacionada ao fluxo de água antes do processamento (42 e 39 %, respectivamente). Como o caldo de cana possui em sua composição sais inorgânicos, é possível que grande parte destes não tenham sido retirados durante a limpeza alcalina, sendo necessária a aplicação de etapas posteriores de limpeza, agregando uma etapa com limpeza ácida.

A utilização de NaOH seguido da aplicação de NaClO é sugerida por vários autores para a limpeza de membranas compostas de fibra oca (DAUFINN et al., 1991; HO; SIRKAR, 1992; D' SOUZA; MAWSON, 2005). O NaClO normalmente atua como agente de desprendimento de material acumulado sobre a membrana e seus poros. Além disso, atua como desinfetante (CHERYAN, 1998). Neste estudo, para ambos os procedimentos, a aplicação de NaClO aumentou o fluxo em torno de 45 %.

Ao final dos procedimentos, com a aplicação da limpeza ácida, foi possível obter um fluxo próximo ao J_w . Segundo Montoya (2006), a limpeza ácida é utilizada para dissolver precipitados de sais inorgânicos. O ácido nítrico e o fosfórico são os mais utilizados para este fim. Os ácidos em geral podem também hidrolisar proteínas e polissacarídeos remanescentes.

Álvarez et al. (1996) realizaram a limpeza da membrana após a microfiltração de suco de maçã com uma etapa de solução 1,5 % de NaOH e outra de solução 1 mg·L⁻¹ de NaClO por 40 min cada, repetindo este procedimento até que o fluxo permeado retornasse à pelo menos 95 % do valor original. Ao contrário desse trabalho, os autores não observaram acréscimo de fluxo após a limpeza ácida.

Por outro lado, na limpeza da membrana após ultrafiltração de suco de laranja, Merin e Shomer (1999) observaram uma melhora significativa no fluxo de água ao utilizar solução ácida. Os autores verificaram, ainda, que a circulação de solução enzimática foi necessária para restabelecer o fluxo original da membrana

No presente trabalho, o melhor procedimento de limpeza para a membrana de MF de caldo de cana adicionado de polpa de maracujá, foi o procedimento 2, que corresponde a utilização de NaOH (1 %), NaClO (200 ppm) e H₃PO₄ (200 ppm), onde foi possível atingir cerca de 96 % do fluxo original da membrana.

3.4 Determinação das resistências ao fluxo de massa

As resistências em série foram calculadas através das equações descritas no item 2.3.5. A resistência de membrana (R_M) foi determinada considerando o fluxo de água obtido antes de iniciar cada experimento (J_W), com a membrana limpa. Estes valores variaram, pois nem sempre foi possível retirar totalmente o *fouling* através dos procedimentos de limpeza. A viscosidade da água utilizada para os cálculos foi de $1,003 \times 10^{-3}$ Pa·s (TANGLERTPAIBUL; RAO, 1987).

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos para a resistência total (R_T), resistência da membrana (R_M), resistência devida ao *fouling* (R_F) e resistência causada pela polarização por concentração e pela camada gel polarizada (R_P). Nesta tabela também estão apresentados a porcentagem de cada resistência em relação à resistência total e os dados de viscosidade do permeado.

Nota-se que a maior parte da resistência ao fluxo é causada pela polarização por concentração e camada gel polarizada (51,3 a 82,66 %), enquanto a resistência devida ao *fouling* é responsável por 2,06 a 43,26 % e a resistência causada pela membrana representou apenas de 1,81 a 5,37 % da resistência total, como mostra a Figura 8.

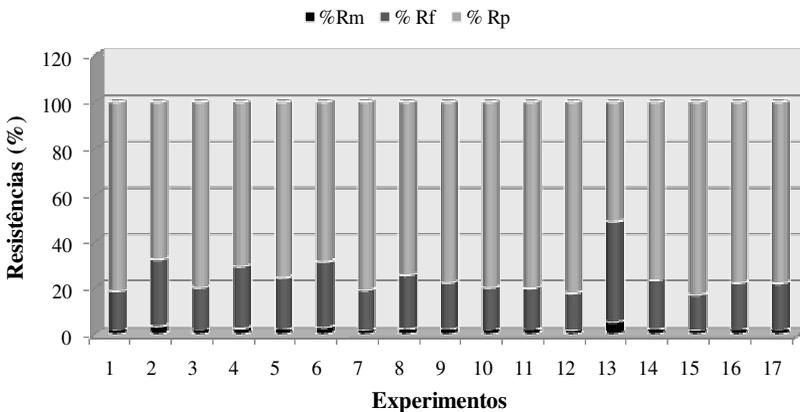


Figura 8 Porcentagem da influência da R_p , R_M e R_F ao fluxo de massa durante a microfiltração de caldo de cana acidificado.

Tabela 7 Valores de resistências ao fluxo de permeado e porcentagem da resistência da membrana (R_M), resistência do *fouling* (R_F) e resistência da polarização da concentração e camada gel (R_P) em relação à resistência total (R_T) obtido através do modelo de resistências em série.

Exp	μ^* (mPa·s)	$R_T \times 10^{13}$ (m^{-1})	$R_M \times 10^{12}$ (m^{-1})	$R_F \times 10^{13}$ (m^{-1})	$R_P \times 10^{13}$ (m^{-1})	% R_M	% R_F	% R_P
1	0,86	9,56	1,87	1,61	7,77	1,96	16,81	81,23
2	0,86	5,02	1,88	1,44	3,39	3,74	28,76	67,50
3	0,86	9,34	1,90	1,70	7,45	2,03	18,19	79,78
4	0,86	6,48	1,89	1,70	4,59	2,92	26,24	70,85
5	1,39	8,07	1,89	1,80	6,07	2,35	22,37	75,28
6	1,39	5,68	1,89	1,61	3,89	3,32	28,26	68,41
7	1,39	10,4	1,89	1,81	8,42	1,81	17,33	80,86
8	1,39	7,36	1,87	1,70	5,47	2,55	23,13	74,33
9	1,09	7,73	1,90	1,52	6,02	2,46	19,65	77,90
10	1,09	8,88	1,87	1,61	7,08	2,11	18,10	79,79
11	1,09	8,56	1,87	1,52	6,85	2,19	17,78	80,03
12	1,09	11,7	1,89	1,92	9,57	1,62	16,46	81,93
13	1,09	3,51	1,89	1,52	1,81	5,37	43,26	51,37
14	1,09	7,73	1,89	1,61	5,94	2,44	20,76	76,79
15	1,09	10,9	1,85	1,70	9,00	1,70	15,64	82,66
16	0,82	8,58	1,89	1,70	6,69	2,20	19,81	77,98
17	1,68	9,12	1,88	1,81	7,12	2,06	19,81	78,13

*viscosidade do permeado

De um modo geral, observa-se um aumento da resistência causada pela polarização por concentração e pela camada gel polarizada quando são usadas pressões transmembranas maiores (Exp 1, 3, 5, 7, 11 e 12). À medida que aumenta a pressão, podem ocorrer depósitos de solutos sobre a superfície da membrana, aumentando a espessura da camada polarizada e, conseqüentemente, levando ao aumento da resistência. A grande influência da resistência causada pela polarização por concentração e pela camada gel polarizada, neste estudo, pode estar

relacionada à presença de polissacarídeos que constituem o caldo de cana *in natura* (VERCELLOTTI; CLARKE; GODSHALL, 1999; GHOSH et al., 2000; SAHA; BALAKRISHNAN; ULBRICHT, 2009).

Como relatam Sulaiman, Sulaiman e Shamel (2001), a molécula de pectina é estruturalmente linear acompanhada de várias ramificações que permitem uma acomodação maior entre as moléculas quando exercida uma força sobre elas, o que permite uma compactação maior do que a observada em moléculas com geometrias mais complexas, tais como proteínas e aminoácidos.

De acordo com Bobbio e Bobbio (1992), as pectinas em presença de açúcares e ácido também podem formar géis estáveis, o poderia ter contribuído para o aumento devido a R_p . Ainda, Yuon et al. (2004), afirmam que os polissacarídeos, as proteínas e o material coloidal estão presentes como matéria sólida nos sucos, que com o aumento da concentração formam cristais ou se transformam em gel, que por sua vez, acumula-se na superfície para formar uma camada secundária, de filtração contínua. A adsorção no interior dos poros e/ou na membrana podem alterar o MWCO (massa molar de corte) aumentando a resistência ao fluxo.

Segundo Saha, Balakrishnan e Ulbricht (2007), o fenômeno de polarização por concentração é dominante para a maioria das filtrações e pode ser dividida em duas fases. A primeira é caracterizada pela redução do tamanho dos poros devido à deposição de incrustações nos mesmos. Posteriormente, as macromoléculas rejeitadas acumulam-se na superfície da membrana, criando uma camada gel, caracterizando a segunda fase da polarização por concentração.

Em geral, a resistência total ao fluxo de permeado diminuiu com temperaturas e velocidades tangenciais elevadas e ainda com pressões transmembranas mais baixas (Exp 2, 6 e 13), o que poderia ser explicado pelo aumento da turbulência e de mistura no interior dos canais do módulo e a menor compactação da camada polarizada.

Jiratananon e Chanachai (1996) relatam que durante a ultrafiltração de suco de maracujá com membrana de polissulfona tipo fibra oca, às temperaturas de 30 e 40 °C obtiveram uma baixa percentagem da resistência devido ao *fouling* (11 a 35 %) e maior contribuição da polarização por concentração e da camada gel polarizada (49 a 84 %). À temperatura de 50 °C, os autores encontraram maior contribuição do *fouling* (56 a 62 %), em detrimento à polarização por concentração e à camada gel polarizada (31 a 35 %). A resistência ao fluxo de massa gerada pela membrana nesta condição variou de 5 a

9%. Os valores da resistência total absolutos variaram de $1,0 \times 10^{12} \text{ m}^{-1}$ a $3,2 \times 10^{13} \text{ m}^{-1}$ nas condições apresentadas.

Resultados semelhantes ao deste estudo foram encontrados por Youn et al. (2004) durante a microfiltração de suco de maçã. A resistência devido ao *fouling* variou de 33,37 a 41,35 % utilizando membranas de polissulfona. A contribuição da polarização por concentração e da camada gel polarizada foi de 40,47 a 71,25 %, enquanto a resistência causada pela membrana representou percentuais de 12 a 18 % da resistência total. Contudo os valores absolutos para a resistência total reportados pelos autores foram menores àqueles encontrados neste trabalho ($0,80 \times 10^{13}$ a $1,11 \times 10^{13} \text{ m}^{-1}$).

Comportamento similar ao deste estudo, ou seja, maior resistência ao fluxo devido a camada polarizada, também foi encontrado por Chhaya et al. (2008), durante a microfiltração de melancia, conduzida em membranas de celulose acetato, de tamanho de poro de 2 μm . Havendo um incremento de pressão transmembrana observou-se também um aumento da polarização por concentração e da camada gel polarizada. Maior resistência ao fluxo de massa causada pela polarização por concentração e camada gel polarizada também foi relatada por Rai et al. (2006), durante a ultrafiltração de suco de mosambi.

Em contrapartida, alguns trabalhos fazem referência ao *fouling*, como resistência predominante no processo de microfiltração: Watanabe, Ushikubo e Viotto (2006) em microfiltração de suco de umbu; Clareto (2007) em suco de goiaba; Ongaratto e Viotto (2009) em micro e ultrafiltração de suco de pitanga; e Silva (2009) em soluções aquosas de pectina. Os valores de R_F representaram de 60 a 70 % da resistência total.

3.5 Ajuste ao modelo matemático de Constenla e Lozano (1997)

A partir dos dados experimentais do fluxo inicial (J_i) e do fluxo final (J_f), e utilizando o software *Statistica 7.0* obteve-se os valores da taxa de decaimento, “ λ ”, para cada experimento. Na Tabela 8 são apresentados os valores de fluxo utilizados para o ajuste, bem como a taxa de declínio de fluxo “ λ ” e o coeficiente de determinação (R^2) para cada condição estudada.

Observa-se que os valores de R^2 foram elevados, assumindo valores acima de 92 % e demonstrando que os dados experimentais apresentaram um bom ajuste ao modelo de Constenla e Lozano (1997).

Tabela 8 Valores dos parâmetros da taxa de declínio de fluxo “ λ ” e do coeficiente de determinação (R^2) para o ajuste ao modelo de Constenla e Lozano (1997) na MF de caldo de cana acidificado.

Ensaio	X_1 P(bar)	X_2 (m.s ⁻¹)	X_3 T(°C)	J_i (L.h ⁻¹ .m ⁻²)	J_f (L.h ⁻¹ .m ⁻²)	λ (min ⁻¹)	R^2 (%)
1	4	0,87	45	36,56	16,60	0,1886	97,00
2	2	0,87	45	73,86	17,43	0,1876	96,00
3	4	0,49	45	51,87	17,84	0,2077	96,28
4	2	0,49	45	28,63	12,86	0,1307	94,45
5	4	0,87	25	43,15	12,45	0,1732	95,21
6	2	0,87	25	19,09	9,13	0,1305	96,41
7	4	0,49	25	29,05	9,96	0,1795	96,13
8	2	0,49	25	16,60	7,05	0,1406	92,88
9	3	0,68	35	33,20	12,86	0,1463	95,60
10	3	0,68	35	30,70	11,20	0,1538	94,00
11	3	0,68	35	30,70	11,62	0,1503	94,95
12	4,68	0,68	35	30,71	13,28	0,1774	96,00
13	1,32	0,68	35	33,19	12,45	0,1302	96,78
14	3	1,00	35	32,47	12,86	0,1398	96,07
15	3	0,36	35	24,90	9,13	0,1481	96,00
16	3	0,68	46,6	36,52	15,35	0,1355	96,03
17	3	0,68	13,2	29,05	7,05	0,1450	94,70

A taxa de declínio “ λ ” está relacionada à acentuação da queda do fluxo. Na maioria dos casos, quanto maior o valor de “ λ ”, mais acentuada será a curva no início do processamento, que corresponde ao primeiro estágio da curva descrita por Marshall e Daufin (1995).

Valores para “ λ ” de 0,1305 a 0,1481 min⁻¹ foram encontrados quando a condição de baixa pressão transmembrana foi utilizada combinada à velocidades tangenciais e temperaturas baixas (Exp. 4, 6, 8, 13 e 15). Nestas condições, o fluxo inicial já era baixo e logo se

estabilizou, devido à turbulência insuficiente para promover alta remoção das partículas, e do provável aumento da concentração de macromoléculas na superfície da membrana, rapidamente ocorreu a formação da camada polarizada, que demonstra tendência de maior estabilidade nos valores de fluxo em função do tempo. Entretanto, no Exp 2, mesmo com baixa pressão transmembrana, o “ λ ” foi maior. Isso ocorreu devido ao fluxo inicial alto, seguido da redução de cerca de 50 % nos instantes iniciais do processo.

De forma geral, o valor da taxa de declínio “ λ ” é um pouco mais elevado (de 0,1732 a 0,2077 min^{-1}), quando há aumento da força motriz, traduzido neste trabalho como um incremento de pressão, que leva a um fluxo inicial mais alto, e à tendência de formação do *fouling* decorrida da própria pressão (Exp. 1, 3, 5, 7 e 12).

Constenla e Lozano (1997) ajustaram dados experimentais da ultrafiltração de suco de maçã tratada enzimaticamente ao modelo da Equação (6). Utilizando membrana de fibra oca, de polissulfona, de poro 50 kDa, nas condições operacionais pressão de 0,735 bar, temperatura de 50 °C e variando a vazão, os autores reportaram os seguintes valores: 0,8592 h^{-1} (10 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$), 1,1052 h^{-1} (15 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) e 4,1772 h^{-1} (20 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$). A taxa de declínio foi, portanto, maior quanto maior a vazão aplicada. Essa relação não foi observada neste estudo.

Watanabe, Ushikubo e Viotto (2006) relatam que as curvas de fluxo de permeado da microfiltração de caju se ajustaram bem ao modelo matemático proposto pela teoria da renovação de superfície, explicando de 91 a 99 % a variação dos dados experimentais. Em geral, os valores de declínio de fluxo foram maiores quando se utilizou alta pressão (1,1 bar), pois a queda do fluxo inicial foi maior nesses casos.

Conforme demonstrado por Clareto (2007), a aplicação deste modelo aos dados experimentais obtidos na microfiltração de goiaba gerou bons ajustes ($R^2=92$ a 99 %). Contudo, os valores encontrados para o “ λ ” foram menores quando comparados aos encontrados neste estudo (0,048 a 0,1202 min^{-1}) evidenciando uma menor taxa de decréscimo de fluxo nos experimentos realizados com suco de goiaba.

Em estudo realizado por Barato (2008) foram encontrados valores de “ λ ” da ordem de 0,203 a 0,501 m^{-1} , valores acima dos encontrados neste estudo, no entanto o modelo de Constenla e Lozano (1997) não apresentou bom ajuste aos dados experimentais obtidos da microfiltração de caju ($R^2 = 76,29$ a 85,62 %). Os maiores “ λ ” também foram observados quando houve acréscimo nos valores de pressão transmembrana.

A Figura 9 mostra os ajustes dos dados do experimento 1 ($Pt = 4$ bar; $Vt = 0,87\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $T = 45\text{ }^\circ\text{C}$) ao modelo de Constenla e Lozano (1997).

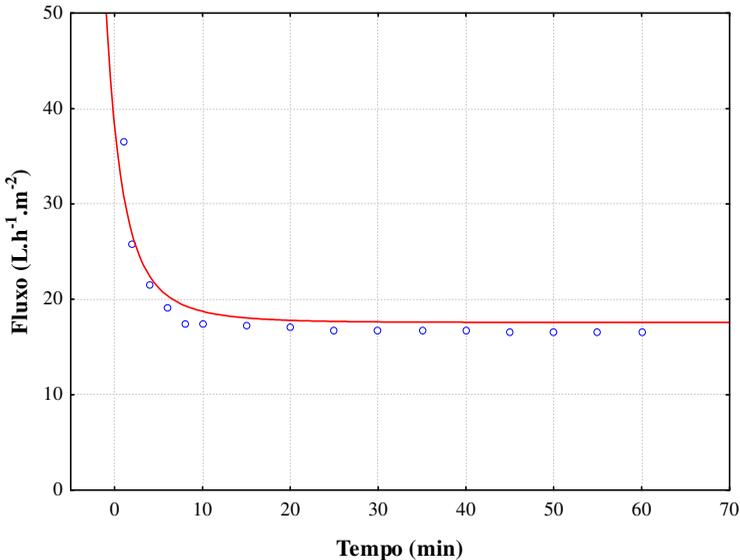


Figura 9 Ajuste da curva de fluxo de permeado ao modelo de: Constenla e Lozano (1997) para o experimento 1 [dados experimentais (o), valores calculados (-)].

Através do gráfico, observa-se que o modelo de Constenla e Lozano (1997) explica bem a variação dos valores de fluxo. Esta tendência havia sido abordada através da análise dos valores de R^2 . O gráfico também mostra que este modelo é preditivo em toda a faixa de processo. Os demais experimentos apresentaram comportamento similar, como se observa nos valores de R^2 , apresentados na Tabela 8.

3.6 Análises físico-químicas

Na Tabela 9 são apresentadas as características físico-químicas e a composição centesimal do caldo de cana-de-açúcar *in natura* puro, acidificado (alimentação) e ainda da bebida microfiltrada.

Tabela 9 Características físico-químicas obtidas para o caldo de cana puro *in natura*, caldo de cana acidificado e caldo de cana microfiltrado.

	Caldo puro	Caldo acidificado	Caldo MF
Proteínas (g·100mL ⁻¹)	0,26 ^a ± 0,01	0,28 ^a ± 0,01	0,18 ^b ± 0,01
Lipídios (g·100mL ⁻¹)	< 0,10 ^a ± 0,01	< 0,10 ^a ± 0,01	< 0,10 ^a ± 0,01
Carboidratos (g·100mL ⁻¹)	19,95 ^a ± 0,08	19,84 ^a ± 0,02	18,86 ^b ± 0,01
Umidade (g·100mL ⁻¹)	79,47 ^a ± 0,08	79,55 ^a ± 0,02	80,64 ^c ± 0,01
Açúcares não-redutores (g·100mL ⁻¹)	14,29 ^a ± 0,06	17,83 ^b ± 0,01	17,76 ^b ± 0,01
Cinzas (g·100mL ⁻¹)	0,33 ^a ± 0,01	0,34 ^a ± 0,05	0,32 ^a ± 0,01
Valor calórico total (Kcal·100mL ⁻¹)	80,82 ^a ± 0,11	79,66 ^b ± 0,08	76,16 ^c ± 0,01
Sólidos Totais (ST) (g·100mL ⁻¹)	21,54 ^a ± 0,01	20,49 ^b ± 0,02	19,37 ^c ± 0,01
Sólidos solúveis (SS) (°Brix)	19,35 ^a ± 0,49	19,61 ^a ± 0,13	18,60 ^a ± 0,14
pH	5,43 ^a ± 0,03	4,11 ^b ± 0,03	4,13 ^b ± 0,02
Acidez (mg ácido cítrico·100 mL ⁻¹)	0,024 ^a ± 0,01	0,043 ^b ± 0,01	0,037 ^c ± 0,1
Vitamina C (mg de vit. C·100 mL ⁻¹)	5,64 ^a ± 0,11	5,34 ^b ± 0,07	5,22 ^c ± 0,05

a,b,c - Médias seguidas com a mesma letra na horizontal (linha) não diferem estatisticamente (5 % de significância).

Observa-se que o caldo de cana *in natura* é constituído principalmente de água (79 %) e sólidos totais dissolvidos (20 %), destacando-se entre estes, os açúcares sacarose, glicose e frutose, os não-açúcares orgânicos constituídos por substâncias nitrogenadas, pectina, fibras, lipídeos e ainda não-açúcares inorgânicos, representados pelas cinzas (STUPIELLO, 1987; SAHA; BALAKRISHNAN; ULBRICHT, 2006). A quantidade de sólidos solúveis (SS) foi da ordem de 19,25 g·100 mL⁻¹ e o pH demonstrou-se pouco ácido, próximo a 5,4. Esses valores de pH associados à presença de altas concentrações de açúcares torna este produto altamente perecível. O caldo de cana analisado apresentou valores semelhantes aos encontrados por IBGE (1999); UNICAMP (2006) e Oliveira et al. (2007), com pequenas variações em função de fatores ambientais, época da colheita, grau de maturação entre outros.

A adição de 5 % de polpa de maracujá ao caldo de cana levou ao decréscimo do pH para 4,11 e conseqüentemente ao aumento da acidez. O caráter ácido é uma característica importante em termos de controle microbiano. Devido as características sensoriais (VENTURINI, 2005) e para evitar o crescimento de microrganismos deteriorantes, o valor de pH deve manter-se em torno de 4 (VERA et al., 2003).

A MF de caldo de cana acidificado resultou em um permeado com menores valores ($p < 0,05$) para sólidos totais, acidez, proteínas, carboidratos e vitamina C (Tabela 9) quando comparado ao caldo acidificado. Desta forma a diminuição no teor de ST estaria relacionada, à redução no teor de proteínas, carboidratos e fibras, que ficaram retidas na membrana. Assim como o aumento da umidade no permeado se deve a retenção dos ST.

Percebe-se, de um modo geral, que o caldo acidificado e o microfiltrado não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) quanto ao pH. No entanto com relação à acidez, houve uma redução em torno de 14 % (0,043 para 0,037 mg de ácido cítrico $\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$). Esse resultado indica que no processo de MF ocorre uma concentração de ácidos não-dissociados, sem alterar a concentração de íons hidrogênio (BARROS et al., 2003; USHIKUBO, WATANABE; VIOTTO, 2007),

Campos et al. (2002), ao trabalharem com MF de suco de caju, também observaram pequena variação de pH entre a polpa de caju e o suco microfiltrado, 3,77 e 3,91, respectivamente. Wang, Wei e Yu (2005), durante a MF de cereja, observaram comportamento similar ao deste estudo, indicando valores semelhantes de pH para alimentação e permeado e redução da acidez titulável do suco após a MF. Nogueira e Venturini Filho (2007) estudaram a MF e UF de caldo de cana e também não observaram variação de pH da alimentação e suco clarificado.

O teor de vitamina C apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre o caldo acidificado e o microfiltrado. Os valores encontrados para alimentação e permeado foram de 5,34 e 5,22 mg vitamina C $\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$, respectivamente. O microfiltrado apresentou menores valores, que pode ter ocorrido devido à turbulência provocada pelo aumento da velocidade tangencial, intensificando a aeração do fluido durante o processamento. Este maior contato com o ar leva à maior oxidação da vitamina C (BOBBIO; BOBBIO, 1992). A quantidade de vitamina C foi menor daquela encontrada por Prati et al. (2004) para caldo de cana adicionado de suco de maracujá. Esta diferença pode ter ocorrido devido ao uso de diferentes polpas de maracujá, pois, no estudo realizado por estes autores foi utilizado suco natural de maracujá, enquanto no presente trabalho optou-se polpa de maracujá pasteurizada.

A percentagem de recuperação das proteínas totais presentes no microfiltrado após o processo de MF do caldo acidificado foi de aproximadamente 64 %. A retenção protéica pode ser atribuída às interações soluto-membrana (CASSANNO; CONIDI; DRIOLI, 2010)

O teor de SS é de grande importância nos frutos, tanto para o consumo *in natura* como para o processamento industrial, visto que elevados teores desses constituintes na matéria-prima implicam menor adição de açúcares (PINHEIRO et al., 1984). Ainda de acordo com a Tabela 9 observa-se que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre o caldo acidificado e o microfiltrado para este parâmetro, tendo este valores variando de 18 a 20 °Brix. A Copersucar (2009) considera como adequados valores maiores ou iguais a 18 °Brix, embora isto não seja regra para todas as cultivares de cana.

Carvalho, Castro e Silva (2008) avaliaram a retenção de açúcares no processo de clarificação de suco de abacaxi e perceberam que após a MF e UF, em membranas com ponto de corte (*cut-offs*) de 50 e 100 KDa, houve uma retenção de açúcares em torno de 10 %. Já Youn et al. (2004), não observou diferença significativa no conteúdo de açúcar total, depois da MF e UF de suco de maçã, em membranas de fibra oca com diâmetro médio de poros de 0,1 μm e 30 kDa.

Os resultados de açúcares não-redutores, teor de cinzas e lipídeos não diferiram significativamente, a um nível de 5 % de significância, entre as amostras da alimentação e permeado.

3.7 Análises microbiológicas

Devido à possibilidade de contaminação cruzada com o meio ambiente e, com o intuito de amenizá-la, as amostras foram coletadas de maneira asséptica, para aumentar a segurança e garantir um ambiente livre de microrganismos. Após coletadas as amostras foram refrigeradas e encaminhadas para a análise.

A Tabela 10 apresenta as contagens microbianas para o caldo acidificado *in natura* e após o processo de MF e ainda as reduções logarítmicas encontradas. Observa-se que foram obtidas contagens microbianas altas para o suco acidificado *in natura* quando comparado aos dados encontrados na literatura. Prati (2004), em estudo realizado com caldo de cana também adicionado de suco de maracujá, encontrou valores de ordem de $1,9 \times 10^3$ e 3×10^2 para a contagem microbiana total e bolores e leveduras, respectivamente. Além disso, a presença de coliformes a 45 °C foi ínfima e não houve presença de *Salmonella*.

Entretanto, segundo Mayeux e Colmer (1960) e Duncan e Colmer (1964) canas-de-açúcar saudáveis podem conter de 10^1 a 10^8 colônias por grama de colmo e de 10^1 a 10^3 colônias de fungos por grama de colmo.

Tabela 10 Características microbiológicas do caldo de cana acidificado antes e após a microfiltração.

Análises	Contagem		Reduções
	Caldo acidificado	Caldo MF	Logarítmicas
Bactérias Lácticas	$1,3 \times 10^6$ UFC/mL	< 1 UFC/mL	6
Bolores e leveduras	$4,4 \times 10^5$ UFC/mL	< $1,0 \times 10^1$ UFC/mL	4
Coliformes a 35 °C	> $1,1 \times 10^3$ NMP/mL	< 0,3 NMP/mL	3
Coliformes a 45 °C	< 0,3 NMP/mL	< 0,3 NMP/mL	-
Contagem Total	$1,4 \times 10^5$ UFC/mL	1 UFC/mL	5
<i>Salmonella</i>	Ausência	Ausência	-

Com relação ao microfiltrado é possível observar que o processo de MF contribuiu para a diminuição das contagens de bactérias lácticas, bolores e leveduras, coliformes à 35 °C e contagem total obtendo-se reduções de 6, 4, 3 e 5 log UFC·mL⁻¹, respectivamente, evidenciando que o processo é eficaz para a finalidade pretendida. Pafylis et al. (1996), Guerra et al. (1997) e Saboya e Maubois (2000) afirmam, que a redução bacteriana na MF é de 4 a 5 log UFC·mL⁻¹. Carvalho et al. (2002), Vaillant et al. (2005); Cassano et al. (2007) e Cassano, Marchio e Drioli (2007) alegam que a MF tem sido empregada na separação de microrganismos, pois consegue reduzir o uso de tratamento térmico elevado evitando perdas nutricionais e sensoriais.

A Resolução RDC n°12/2001 (BRASIL, 2001) especifica o padrão microbiológico para caldo de cana pasteurizado e refrigerado, incluindo caldo de cana isolado ou em misturas e refere-se apenas a presença de coliformes à 45 °C e *Salmonella SP*. O limite máximo estabelecido é de 10 NMP·mL⁻¹ para coliformes à 45 °C e ausência para *Salmonella*. Neste contexto, as contagens microbianas obtidas neste trabalho encontram-se dentro do limite estabelecido pela Legislação para caldo de cana, indicando que a MF pode ser usada como um

processo alternativo para a conservação de sucos em substituição aos processos térmicos.

Na literatura encontram-se relatos do uso da MF na remoção de microrganismos, a citar, a obtenção de suco de abacaxi clarificado e esterilizado a frio foi estudada por Carneiro et al. (2002), utilizando sistema de MF com membrana polimérica de polietersulfona com poros de 0,3 μm , e tratamento enzimático. As condições avaliadas permitiram atingir os padrões microbianos exigidos pela legislação brasileira. Acrescentam ainda, que estes parâmetros foram mantidos ao longo do período de armazenamento (28 dias).

Estudos realizados por Matta, Moretti e Cabral (2004), também indicaram que a MF de acerola gerou um permeado com características microbiológicas que atendem a legislação vigente. O permeado apresentou cerca de $10^1 \text{ UFC} \cdot \text{mL}^{-1}$ para bolores e leveduras e contagem total, $< 3 \text{ UFC} \cdot \text{mL}^{-1}$ para coliformes à 45 °C e ausência de *Salmonella*.

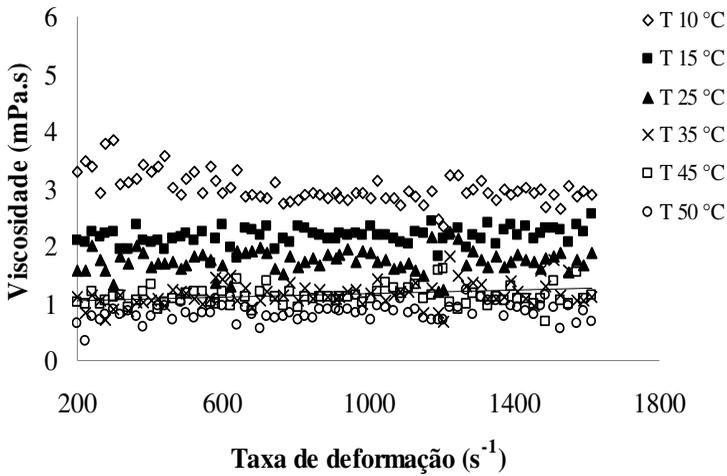
Da mesma forma, em estudo realizado por Paula et al. (2004), utilizando membrana de MF do tipo tubular e porosidade de 0,3 μm , foi possível obter um suco de maracujá clarificado com características microbiológicas dentro das especificações da Legislação vigente.

3.8 Análise reológica

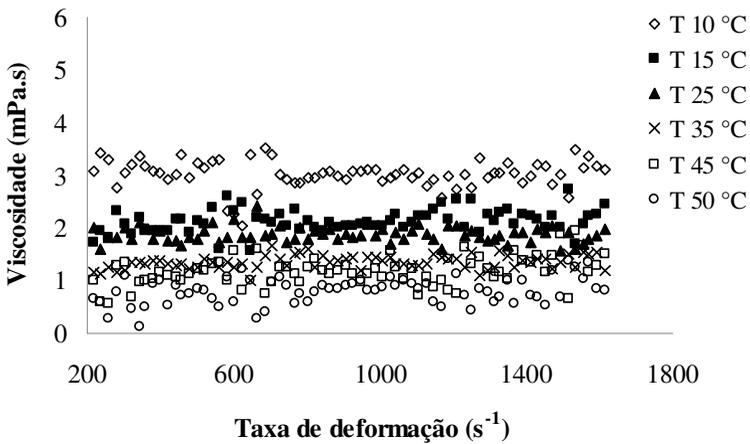
A Figura 10 apresenta os gráficos de viscosidade versus taxa de deformação, para o caldo de cana *in natura*, caldo de cana acidificado *in natura* e caldo acidificado microfiltrado, respectivamente, nas temperaturas estudadas. Foram levadas em consideração as viscosidades obtidas a taxas de cisalhamento acima de 200 s^{-1} e abaixo de 1700 s^{-1} , devido à instabilidade do equipamento.

Observa-se que a viscosidade se mantém constante com o aumento da taxa de deformação, indicando o comportamento de um fluido newtoniano para ambas as amostras. Segundo Sharma, Mulvaney, Rizvi (2000), líquidos simples (como a água), soluções de baixa massa molecular, dispersões diluídas e soluções poliméricas diluídas apresentam um comportamento newtoniano (suco de laranja, suco de maçã, vinho e cerveja, entre outros). Além disso, a viscosidade para as frações de permeado obtidas a 35 °C (aproximadamente 1,00 $\text{mPa} \cdot \text{s}$) é semelhante à viscosidade da água à mesma temperatura (1,00 $\text{mPa} \cdot \text{s}$), o que era esperado, já que a clarificação de sucos utilizando membranas provoca a completa remoção dos sólidos suspensos, um dos fatores responsáveis por viscosidades mais elevadas.

(a)



(b)



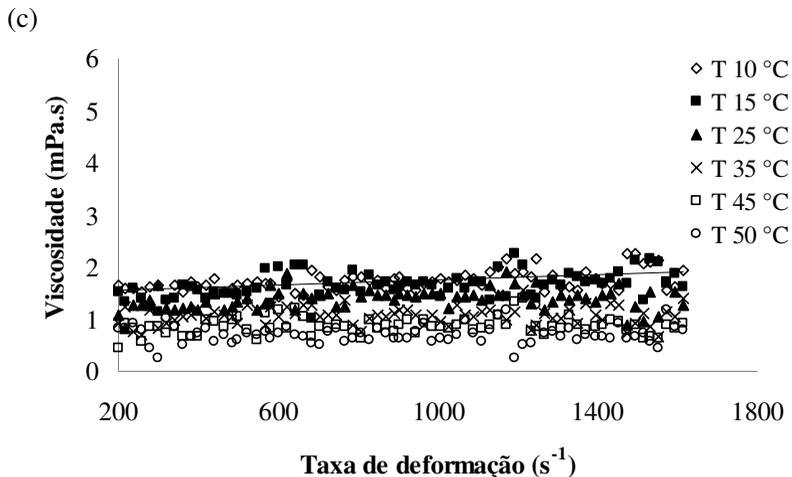


Figura 10 Relação da viscosidade aparente versus taxa de deformação nas temperaturas de 10, 15, 25, 35, 45 e 55 °C, para o (a) caldo de cana *in natura*; (b) caldo de cana acidificado e (c) caldo de cana microfiltrado.

As Tabelas 11 e 12 apresentam os parâmetros dos modelos ajustados às diferentes temperaturas para os sucos estudados. Os modelos de Newton e Lei da Potência foram avaliados quanto à sua capacidade de descrever o comportamento reológico de ambos os sucos estudados. Pode-se observar que os modelos descrevem de forma satisfatória o comportamento dos sucos, apresentando coeficientes de determinação (R^2) de 0,90 a 0,99. O modelo da Lei da Potência mostra que o índice de comportamento do fluido tem valor muito próximo a 1 confirmando o comportamento newtoniano apresentado na Figura 10.

Tabela 11 Parâmetros reológicos obtidos para o caldo de cana *in natura*, caldo de cana acidificado e caldo de cana microfiltrado obtidos pelo ajuste ao modelo de Newton.

T (°C)	Viscosidade (mPa.s)					
	Caldo <i>in natura</i>	R*	Caldo acidificado	R*	Caldo MF	R*
10	3,503 ^{aA} ±0,14	0,9814	3,224 ^{aA} ±0,06	0,9848	1,734 ^{aB} ±0,13	0,9805
15	2,170 ^{abA} ±0,28	0,9826	2,130 ^{bA} ±0,27	0,9901	1,648 ^{aB} ±0,41	0,9652
25	1,730 ^{abcA} ±0,10	0,9560	1,874 ^{bA} ±0,27	0,9712	1,388 ^{abB} ±0,11	0,9805
35	1,155 ^{bA} ±0,24	0,9878	1,351 ^{bcB} ±0,09	0,9785	1,068 ^{abB} ±0,07	0,9370
45	1,116 ^{cbA} ±0,42	0,9977	1,180 ^{bcA} ±0,06	0,9620	0,864 ^{abB} ±0,22	0,9477
50	0,837 ^{cAB} ±0,05	0,9837	0,815 ^{cA} ±0,09	0,9703	0,711 ^{bB} ±0,16	0,9315

Coefficiente de correlação (R); a,b,c - Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna, indicam diferença (nível de significância de 5 %) entre as temperaturas para a mesma amostra; A,B - Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha, indicam diferença significativa (nível de significância de 5 %) entre as amostras na mesma temperatura.

Tabela 12 Parâmetros reológicos obtidos para o caldo de cana *in natura*, caldo de cana acidificado e caldo de cana microfiltrado obtidos pelo ajuste ao modelo da Lei da potência

T (°C)	Caldo <i>in natura</i>			Caldo acidificado			Caldo MF		
	K* (Pa.s ⁿ)	n**	R***	K (Pa.s ⁿ)	n	R	K (Pa.s ⁿ)	n	R
10	0,0032	0,9962	0,9961	0,0045	0,94945	0,9852	0,0007	1,1387	0,9827
15	0,0018	1,0370	0,9971	0,0022	0,98006	0,9972	0,0007	1,1387	0,9724
25	0,0035	0,9004	0,9983	0,0018	1,01016	0,9812	0,0014	0,9857	0,9951
35	0,0007	1,0344	0,9994	0,0024	0,95517	0,9876	0,0006	1,0581	0,9974
45	0,0030	0,8869	0,9982	0,0002	1,14369	0,9874	0,0015	0,9436	0,9682
50	0,0005	1,0454	0,9978	0,0001	1,22452	0,9949	0,0001	1,3894	0,9451

* Índice de consistência (K); ** Índice de comportamento de fluxo (n); *** Coeficiente de correlação (R)

Outro aspecto importante a ser analisado é a diminuição da viscosidade conforme aumento da temperatura e da taxa de deformação (Tabela 11). Observa-se que, para ambas as amostras, de modo geral, ocorreu uma diminuição significativa ($p < 0,05$) da viscosidade em função do aumento da temperatura com taxas de deformação crescentes. Segundo Hassan e Hobani (1998); Pelegrine, Vidal e Gasparetto (2000) e Haminiuk et al. (2006) a diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento e temperatura ocorre frente ao colapso estrutural da polpa causada pelas forças hidrodinâmicas geradas e o aumento do alinhamento das moléculas constituintes. As mesmas podem escoar mais facilmente, como um resultado da diminuição da interação partícula-partícula, a qual resulta na diminuição da viscosidade.

De acordo com Krokida, Maroulis e Saravacos (2001), a temperatura tem um maior efeito no índice de consistência (K) em fluidos alimentícios não-newtonianos, sendo que o índice de comportamento (n) é afetado de forma moderada pela temperatura, mostrando um pequeno aumento em temperaturas elevadas.

O comportamento newtoniano também foi encontrado para produtos similares, ou seja, para sucos de frutas *in natura* e clarificados. Carneiro et al. (2002) durante a clarificação do suco de abacaxi e Ongaratto e Viotto (2009) estudando a MF e a UF de suco de pitanga observaram um comportamento newtoniano no permeado obtido após o processamento. Ambos os sucos clarificados apresentaram viscosidade próxima a 1 mPa·s.

Giner et al. (1996) estudaram o comportamento reológico de suco de cereja em diferentes temperaturas (5 a 70 °C) e concentração de sólidos solúveis (22 a 74 °Brix) e observaram um comportamento newtoniano em toda a faixa estudada.

Vandresen et al. (2009) também observaram comportamento newtoniano em suco natural de cenoura e laranja também foi relatado. O estudo foi realizado utilizando equipamento similar ao deste trabalho e as medidas de viscosidade foram feitas nas temperaturas de 8, 15, 25, 35, 55, 65, 75 e 85 °C, utilizando uma taxa de deformação variando de 0 a 1600 s⁻¹. O comportamento reológico das misturas de suco de laranja com suco de cenoura dependeram da quantidade adicionada deste último. As misturas com maiores proporções de laranja mostraram um comportamento igualmente newtoniano, enquanto que a mistura com 75 % cenoura e o seu suco puro apresentaram um comportamento pseudoplástico, mesmo o índice de comportamento do fluido sendo da ordem de 0,8 - 0,9. O decréscimo da viscosidade com a temperatura também foi observado neste estudo.

3.9 Análise de cor

Através da Figura 11 pode-se visualizar o aspecto da alimentação (caldo de cana adicionado de polpa de maracujá) e dos produtos obtidos (retentado e permeado). Percebe-se que o permeado mostrou-se bastante transparente e clarificado, com coloração levemente amarelada.

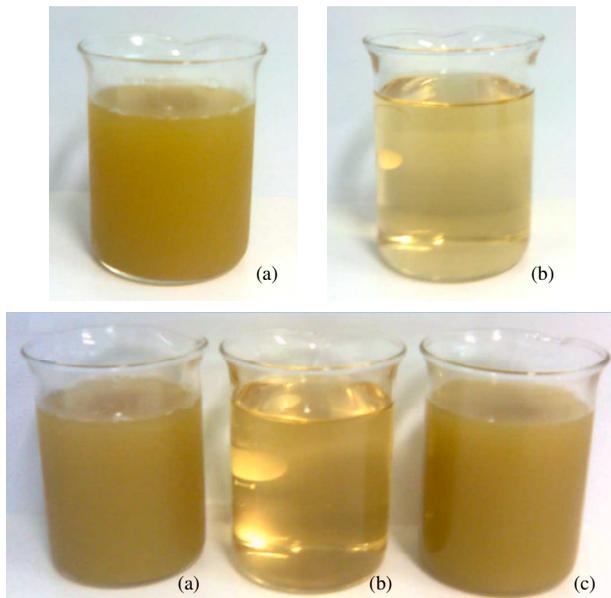


Figura 11 (a) Ilustração da alimentação (caldo acidificado), (b) permeado e (c) retentado obtidos após a microfiltração de caldo de cana adicionado de polpa de maracujá.

Considerando-se que a cor visual é um dos mais importantes atributos de aceitabilidade e qualidade de produtos alimentícios (HUTCHINGS, 1999), tem-se na Tabela 13 os resultados para os parâmetros L^* , a^* e b^* , dos caldos de cana acidificado *in natura* (alimentação), do retentado e do microfiltrado.

Tabela 13 Resultados para os parâmetros de cor L*, a* e b* obtidos para a alimentação (caldo acidificado), retentado e microfiltrado.

Parâmetros	Alimentação	Retentado	Caldo de cana MF
L*	22,48 ^a ± 0,84	21,54 ^a ± 0,70	39,81 ^b ± 0,72
a*	- 2,71 ^b ± 0,13	- 1,16 ^a ± 0,06	- 1,35 ^a ± 0,08
b*	11,55 ^a ± 0,51	11,49 ^a ± 0,47	7,5 ^b ± 0,16

De acordo com a Tabela 13 percebe-se que o permeado tem luminosidade maior ($p < 0,05$) em relação a alimentação e o retentado, apresentando um L* de aproximadamente 40. Suzart, (2009) encontrou valores de L* semelhantes aos deste estudo para caldo de cana adicionado de ácido cítrico (pH 4,2) e submetido ao tratamento térmico 90 °C/40 s. Esta tendência era esperada já que a MF retém grande parte das macromoléculas (amidos e pectinas) responsáveis pela turbidez. Mesmo assim, ambas as amostras têm luminosidade tendendo ao escuro (escala de L* varia de 0 a 100, do preto ao branco). A formação de melanoidinas, provenientes da ação de Maillard entre açúcares redutores e aminoácidos presentes na cana, assim como a possível degradação térmica e reação de condensação de açúcares (caramelização) (BUCHELI; ROBINSON, 1994; QUDSIEH et al., 2002) poderiam ser responsáveis pela tonalidade escura. Além disso, as reações de escurecimento enzimático contribuem com a maior porcentagem de formação de compostos de coloração escura no caldo de cana logo após a extração. O escurecimento enzimático do caldo de cana ocorre devido à ação das enzimas polifenoxidase e peroxidase, que oxidam compostos fenólicos presentes no caldo (DELGADO; CÉSAR, 1977; YUSOF; SHIAN; OSMAN, 2000; QUDSIEH et al., 2002; ARAÚJO, 2007). O aumento da luminosidade no permeado também foi observado por Matta, Cabral e Moretti (2000) e Rodrigues (2002) durante a UF e MF de suco de acerola e de camu-camu, respectivamente.

Os valores de a* obtidos para ambas as amostras indicaram que o mesmo tende a uma coloração levemente esverdeada, devido aos valores encontrados serem negativos, porém muito próximos de zero. A presença de clorofila pode contribuir para a coloração esverdeada do caldo de cana, assim como alguns compostos fenólicos, cuja presença pode determinar a coloração e aceitabilidade do produto (QUDSIEH et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2007).

A alimentação, o retentado e o permeado apresentaram valor de b^* com tendência para a cor amarela, entretanto, o permeado apresentou valor de b^* menor ($p < 0,05$) quando comparado aos valores da alimentação e retentado, o que indica leve intensidade de cor amarela, representando uma diminuição de aproximadamente 65%. Ushikubo, Watanabe e Viotto (2006) também observaram menores valores para os parâmetros a^* e b^* após a MF de suco de umbu. A perda de coloração no permeado indica que, provavelmente houve retenção de compostos responsáveis pela coloração do suco, como os carotenóides e compostos fenólicos.

De acordo com Riffer (1988), a tendência a cor amarela pode ocorrer devido a oxidação dos carboidratos, que é evidenciada pela mudança de cor, tendendo frequentemente para a tonalidade ligeiramente parda/amarelada ou então para o marrom.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, podemos concluir que altas temperaturas e velocidades tangenciais geraram maiores fluxos permeado ao final do processo. A temperatura apresentou a maior influência sobre o fluxo permeado, seguida da velocidade tangencial, que também apresentou influência positiva no fluxo permeado, porém com menor intensidade. A pressão transmembrana não apresentou efeito sobre o fluxo final. O perfil de fluxo de permeado observado para todos os ensaios consistiu de um decaimento abrupto nos instantes iniciais de operação com posterior estabilização do fluxo ao longo do tempo.

Pela análise das resistências ao fluxo, observou-se que a membrana representou uma pequena porcentagem da resistência total (1,8 a 5,3 %), enquanto que a resistência causada pela polarização por concentração e camada gel polarizada foi, na maioria dos casos, a resistência mais expressiva (51,3 a 82,6 %). A resistência causada pelo *fouling* variou bastante com os tratamentos e condições operacionais, representando de 2,06 a 43,2 %.

Os dados experimentais de fluxo permeado se ajustaram bem ao modelo matemático proposto pela teoria da renovação de superfície, explicando de 92 a 97 % a variação dos dados experimentais. Em geral, os valores da taxa de declínio de fluxo foram maiores quando se utilizou pressões mais altas.

A limpeza da membrana teve seus melhores resultados com a utilização de NaOH (1 %), NaClO (200 ppm) e H₃PO₄ (200 ppm), onde foi possível atingir cerca de 96 % do fluxo inicial da membrana.

O microfiltrado obtido apresentou redução na contagem de bactérias mesófilas, lácticas e bolores e leveduras, assim como, nos teores de sólidos totais, protéicos, carboidratos e vitamina C ($p < 0,05$), quando comparado ao caldo *in natura*. O microfiltrado apresentou maior luminosidade ($p < 0,05$) e leve tendência a cor amarela. Além disso, tanto o caldo acidificado *in natura*, quanto o caldo microfiltrado apresentaram comportamento newtoniano, apresentado bom ajuste dos dados experimentais aos modelos de Newton e Lei da Potência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ, V.; ANDRES, L. J.; RIERA, F. A.; ÁLVAREZ, R. Microfiltration of apple juice using inorganic membranes: process optimization and juice stability. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 74, p. 156-162, 1996.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS-AOAC. **Official methods of analysis of the association analytical chemists**. 18°. ed. Maryland, USA, 2005.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Compendium of methods of the microbiological examination of foods**. 4th ed. Washington D. C., 676p. 2001.

ARAÚJO, F.A.D. Processo de clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação. **Ciência e Tecnologia**, n.1, 2007.

BAKER, R. W. **Membrane Technology and Applications**. 2°. ed. California: John Wiley e Sons, 538p.,2004.

BARATO, N.C. **Clarificação de Suco de Caju Através de Separação por Membranas**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, FEA/UNICAMP, Campinas, SP.

BARROS, S.T.D. **Clarificação dos sucos de acerola e abacaxi por ultrafiltração: modelagem e simulação do fluxo do permeado e determinação dos mecanismos de fouling**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química, FEQ/UNICAMP, Campinas, SP

BARROS NETO, B; SCARMINIO, I.S; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Unicamp, 401 p., 2001.

BARROS, S.T.D.; ANDRADE, C.M.G.; MENDES, E.S.; PERES, L. Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration. **Journal of Membrane Science**, v.215, n.1-2, p.213-224, 2003.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à Química de Alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2^o. ed., 1992.

BRANS, G.; SCHROËN, C.G.P.H.; VAN der SMAN, R.G.M.; BOOM, R.M. Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. **Journal of Membrane Science**, v.243, n.1-2, p.263-272, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n^o 12, 2 jan. 2001. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, p.17, 2001. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC 360 de 23 de Dezembro de 2003. Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 de dezembro de 2003b. Disponível em:<www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 25 Outubro 2009.

BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos**, 2^o. ed. Unicamp, Campinas, 2003.

BUCHELI, C.S.; ROBINSON, S.P. Contribution of enzymatic browning to color in sugarcane juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.42, n.2, p.257-261, 1994.

BURRELL, B.J.; REED, R.J.R. Crossflow microfiltration of beer: Laboratory-scale studies on the effect of pore size. **Filtration and Separation**, v.31, n.4, p.99-405, 1994.

CAMPOS, D.C.P.; SANTOS, A. S.; WOLKOFF, D.B.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C.; COURI, S. Cashew apple juice stabilization by microfiltration. **Desalination**, v. 148, p. 61-65, 2002.

CARNEIRO, L.; SÁ, I. S.; GOMES, F. S.; MATTA, V. M.; CABRAL, L. M.C. Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangential microfiltration. **Desalination**, v. 148, p. 93-98, 2002.

CARVALHO, L.M.J. de.; CASTRO, I. M. de.; SILVA, C.A.B. da. A study of retention of sugars in the process of clarification of pineapple juice (*Ananas comosus*, L. Merrill) by micro and ultrafiltration. **Journal of Food Engineering**, v.87, p.447-454, 2008.

CARVALHO, L. M. J.; SILVA, C. A. B da.; ABADIO, F. D. B.; GAVA, J. R. Commercial sterilization of fruit juices by ultrafiltration / microfiltration membranes **Alimentaria**, n. 333, p. 123-128, 2002.

CASSANO, A.; CONIDI, C.; DRIOLI, E. Physico-chemical parameters of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice clarified by microfiltration and ultrafiltration processes. **Desalination**, v.250, p.1101-1104, 2010.

CASSANO, A.; CONIDI, C.; TIMPONE, R.; D'AVELLA, M.; DRIOLI, E. A membrane-based process for the clarification and the concentration of the cactus pear juice. **Journal of Food Engineering**, v.80, p. 914-921, 2007.

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

CASSANO, A.; MARCHIO, M.; DRIOLI, E. Clarification of blood orange juice by ultrafiltration: analyses of operating parameters, membrane fouling and juice quality. **Desalination**, v.212, p.15-27, 2007.

CHERYAN, M. **Ultrafiltration and Microfiltration Handbook**. Lancaster: Technomic Publishing Company, 1998.

CHHAYA, C.; RAI, P.; MAJUMDAR, G.C.; DASGUPTA, S.; DE,S. Clarification of watermelon (*citrullus lanatus*) juice by microfiltration. **Journal of Food Process Engineering**, v.31, n.6, p.768-782, 2008.

CHO, C.W., LEE, D., KIM, C.W., Concentration and purification of soluble pectin from mandarin peels using crossflow microfiltration system, **Carbohydrate Polymers**, v.54, p.21-26, 2003.

CIPOLLA, L.E.; NEVES, M.F.; AMARAL, T.M. Mercado brasileiro de alimentos líquidos nos anos noventa e perspectivas futuras. **Laranja**, Cordeirópolis, v.23, n.2, p.271-280, 2002.

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

CONSTENLA, D.T.; LOZANO, J. E. Hollow fibre ultrafiltration of apple juice: macroscopic approach. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.30, p.373-378, 1997.

COOPERSUCAR. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/cana_acucar.asp, Acesso em: 08/09/2009.

DAUFIN, G.; MERIN, U.; LABBE', J.P.; QUE'MERAIS, A.; KERHERVE', F.L.C.leaning of inorganic membranes after whey and milk ultrafiltration, **Biotechnology and Bioengineering**, v.38, n.1, p. 82-89, 1991.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, v. 2., 752 p., 1977.

D'SOUZA, N. M.; MAWSON, A.J. Membrane cleaning in the dairy industry: a review. **Food Science and Nutrition**, v. 45, p.125-134, 2005.

DUNCAN, C.L.; COLMER, A.R. Coliforms associated with sugarcane plants and juices. **Applied Microbiology**, v.12, n.2, p.173-177, 1964.

FERREIRA, D.N. **Influência do uso de retentados de baixo fator de concentração no rendimento e na qualidade da mussarela de reduzido teor de gordura feita por acidificação direta**. 2004. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)- Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

FREITAS, I. C. **Estudo da clarificação de suco de laranja por ultrafiltração**,1995. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, SP

FUKUMOTO, L.R; DELAQUIS, P.; GIRARD, B. Microfiltration and ultrafiltration ceramic membranes for apple juice clarification. **Journal of Food Science**, v.63, p.845-850, 1998.

GAN, Q. Beer clarification by cross-flow microfiltration - effect of surface hydrodynamics and reversed membrane morphology. **Chemical Engineering and Processing**, v.40, p.413-419, 2001.

GAVA, A. J. Processamento asséptico de suco de frutas. **Alimentação**, v.76, n.1, p.3237, 1985.

GÉSAN-GUIZIOU, G.; BOYAVAL, E.; DAUFIN, G. Critical stability conditions in crossflow microfiltration of skimmed milk: transition to irreversible deposition. **Journal of Membrane Science**, v.158, p.211-222, 1999.

GINER, J.; IBARZ, A.; GARZA, S.; XHIAN-QUAN, S. Rheology of Clarified Cherry Juices. **Journal of Food Engineering**, v.30, p.47-54, 1996.

GHOSH, A.M.; BALAKRISHNAN, M.; DUA, M.; BHAGAT, J.J. Ultrafiltration of sugarcane juice with spiral wound modules: on-site pilot trials, **Journal of Membrane Science**. v.174, p.205-216, 2000.

GOOSEN M. F.A., SABLANI S.S., AL-MASKARI S.S., AL-BELUSHI R. H., WILP M., Effect of feed temperature on permeate flux and mass transfer coefficient in spiral-wound reverse osmosis systems, **Desalination**, v.14, p.367-372, 2002.

GUERRA, E.; JONSSON, G.; RASMUSSEN, A.; NIELSEN, E.W.; EDELSTEN, D. Low cross-flow velocity microfiltration of skim milk for removal of bacterial spores. **International Dairy Science**, v.7, p.879-861, 1997.

HABERT, A.C.; BORGES, C.P.; NÓBREGA, R. **Processos de Separação com Membranas**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 180 p, 2006.

HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M-R.; MACIEL, G. M.; VIDAL, J. R. M .B., BRANCO, I.G.; MASSON, M.L. Rheological properties of Butia pulp. **Journal of Food Engineering**, v.2, n.2, p.1-12, 2006.

HASSAN, B.H. e HOBANI, A.I. Flow properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. **Journal of Food Engineering**, v.35, n.4, p.459-470, 1998.

HE, Y.; JI, Z.; LI, S. Effective clarification of apple juice using membrane filtration without enzyme and pasteurization pretreatment **Separation and Purification Technology**. v.57, n.2, p.366-373, 2007.

HO, W.S.; SIRKAR, K.K. **Membrane Handbook**, Nova Iorque: Editora Chapman and Hall, 1992.

HUTCHINGS, J.B. **Food color and appearance**. 2nd ed. Gaithersburg: Aspen Publishers, 1999.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 4^o. ed. São Paulo: IAL, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Estudo nacional da despesa familiar: tabela de composição de alimentos**. 5ed. Rio de Janeiro: Varela, 137 p.1999.

ING, C.B. Cross-flow filtration of beer - experience within the brewery. **The Brewer**. v.81 p.103-110, 1995.

JEGATHEESAN, V.; PHONG, D.D.; SHU, L.; BEN AIM, R. Performance of ceramic micro- and ultrafiltration membranes treating limed and partially clarified sugar cane juice. **Journal of Membrane Science**, v.327, p.69-77, 2009.

JIRATANANON, R.; CHANACHAI, A. A study of fouling in the ultrafiltration of passion fruit juice. **Journal of Membrane Science**., v.111. p.39-48, 1996.

KASTER, B. **Efeitos das condições operacionais na microfiltração do suco de maçã**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, UFSC, Florianópolis, SC.

KELLY, P.M.; MEHRA, R.; OLDFIELD, D.J.; RAGGETT, E.; O'KENNEDY, B.T. Implementation of integrated processes for pilot scale development of fractionated milk components. **Lait**, v.80, p. 139-153, 2000.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B.; SARAVACOS, G.D. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: compilation of literature data. **International Journal of Food Properties**, v.4, n.2, p.179-200, 2001.

LAWRENCE, N.D.; KENTISH, S.E.; O'CONNOR, A.J.; BARBER, A.R.; Stevens, G.W. Microfiltration of skim milk using polymeric membranes for casein concentrate manufacture. **Separation and Purification Technology**, v.60, p.127-244, 2008.

LUBATTI, M. R. S. Vendedor ambulante, profissão folclórica: pesquisa nas ruas, parques e jardins de São Paulo. **Jangada Brasil**, n.7, p.1-2, 1999.

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

MATSUURA, F.C.A.U.; ROLIM, R.B. Avaliação da adição de suco de acerola em suco de abacaxi visando à produção de um "blend" com alto teor de vitamina C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.1, p.138-141, 2002.

MATTA, V.M; CABRAL, L.M.C; MORETTI, R.M. Clarification of acerola juice by enzymatic treatment and microfiltration. **Alimentaria**, n.309, p.127-130, 2000.

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, p.477-482, 2004.

MAYEUX, P.A.; COLMER, A.R. Study on microflora associated with *Saccharum officinarum*. **Sugar Journal**, v.23, p.28-30, 1960.

MERIN, U., SHOMER, I. Ultrafiltration performance of heat-treated Shamouti orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, p.2617-2622, 1999.

MONTOYA, J.E.Z. **Efecto de la limpieza química em La permeabilidad de membranas cerâmicas de ultrafiltración**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidad de Granada, Espanha.

NOGUEIRA, A.M.P.; VENTURINI FILHO, W.G. Ultra e microfiltração de licor de acerola. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, n.4, p.305-311, 2005.

NOGUEIRA, A.M.P.; VENTURINI FILHO, W.G. Clarificação de caldo de cana por micro e ultrafiltração: comprovação de viabilidade técnica em experimentos preliminares. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.10, n.1, p.5762, 2007.

OLIVEIRA, A.C.G. de; SPOTO, M.H.F, CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SOUSA, C. P. de; GALLO, C.R. Efeitos do processamento térmico e da radiação gama na conservação de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.4, p. 863-873, 2007.

ONGARATTO, R.S.; VIOTTO, L.A. Clarification of Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.) juice and carotenoids concentration by microfiltration and ultrafiltration. *Brazilian Journal of Food Technology*. In: **VII Brazilian Meeting on Chemistry of Food and Beverages**, 2009.

PAFYLIAS, I.; CHERYAN, M.; MEHAIA, M. A.; SAGLAM, N. Microfiltration of Milk with ceramic membranes. **Food Research International**, v.29, n.2, p.141-146, 1996.

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

PELEGRINE, D.H.; VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). Campinas, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 20, n.1, 2000.

PETRUS, J.C.C. **Preparação, modificação e caracterização de membranas assimétricas para a clarificação de sucos de frutas**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, FEA/UNICAMP, Campinas.

PINHEIRO, R. V. R.; MARTELETO, L. O.; SOUZA, A. C. G. de; CASALI, W. D.; CONDÉ, A. R. Produtividade e qualidade dos frutos de dez variedades de goiaba, em Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, visando ao consumo ao natural e à industrialização. **Revista Ceres**, v.31, p.360-387, 1984.

PORTER, M.C. **Handbook of Industrial Membrane Technology**. New Jersey: Noyes Publications, 1990.

PRATI, P. **Desenvolvimento de processo para estabilização de caldo de cana adicionado de sucos de frutas ácidos**. Campinas, 2004. 169p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

PRATI, P. CAMARGO, G.A. Characteristics of sugarcane juice and your influence in the beverage stability. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.2, n.1 p.37-44, 2008

PRATI, P.; MORETTI, R.H.; CARDELLO, H.M.A.B.; GÂNDARA, A.L.N. Estudo da vida-de-prateleira de bebida elaborada pela mistura de garapa parcialmente clarificada-estabilizada e suco natural de maracujá. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v.22, n.2, p.295-310, 2004

QUDSIEH, H. Y. M.; YUSOF, S.; OSMAN, A.; RAHMAN, R.A. Effect of maturity on chlorophyll, tannin, color and poliphenol oxidase (PPO) activity of sugarcane juice (*Saccharum officinarum* var. yellow cane). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.50, n.6, p.1615-1618, 2002.

RAI, P.; MAJUMDAR, G.C.; DASGUPTA, S.; DE, S. Effect of various cutoff membranes on permeate flux and quality during filtration of mosambi (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) juice. **Food and Bioproducts Processing**, v.84, p.213-219. 2006.

RIFFER, R. **The nature of colorants in sugarcane and cane sugar manufacture. Chemistry and processing of sugar beet and sugarcane**. In: Clarke, M.A.; Godshall, M.A., Elsevier Science Publishers, New York, cap.13, p.186-207, 1988.

RODRIGUES, R.B. **Aplicação dos Processos de Separação por Membranas para a produção de suco clarificado e concentrado de Camu Camu (*Myrciaria dúbia*)**. 146 p. 2002. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Tecnologia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, SP

SABOYA, L.V.; MAUBOIS, J.L. Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. **Lait**, v.80, p.541-553, 2000.

SAHA, N.K.; BALAKRISHNAN, M.; ULBRICHT, M, Fouling control in sugarcane juice ultrafiltration with surface modified polysulfone and polyethersulfone membranes, **Desalination**. v.249, p.1124-1131, 2009.

SAHA, N.K.; BALAKRISHNAN, M.; ULBRICHT, M, Polymeric membrane fouling in sugarcane juice ultrafiltration: role of juice polysaccharides, **Desalination**. v.189, 2006.

SAHA, N.K.; BALAKRISHNAN, M.; ULBRICHT, M. Sugarcane juice ultrafiltration: FTIR and SEM analysis of polysaccharide fouling. **Journal of Membrane Science**. v.306, p.287-297, 2007.

SAXENA, A.; TRIPATHI, B.P.; KUMAR, M.; SHAHI, V.K. Membrane-based techniques for the separation and purification of proteins: An overview. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.145, p.1-22, 2009.

SHARMA, S. K., MULVANEY, S. J., RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering :theory and laboratory experiments**. United States of America: Wiley-Interscience. 348p., 2000.

SILVA, V. R. da. **Microfiltração tangencial de soluções aquosas de pectina utilizando membranas cerâmicas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Departamento de tecnologia de Alimentos, UFPR, Curitiba, Pr.

STUPIELLO, J.P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização**. v.2. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

SULAIMAN, M. Z., SULAIMAN, N. M., SHAMEL M., Ultrafiltration studies on solutions of pectin, glucose and their mixtures in a pilot scale crossflow membrane unit, **Chemical Engineering Journal**, vol.84, p.557-563, 2001.

SUZART, C.A.G. **Desenvolvimento de tecnologia para estabilização física, sensorial e microbiológica de caldo de cana**. 2009. Dissertação

(Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Departamento de Tecnologia de Alimentos. UNICAMP, Campinas, SP

UNICAMP - UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. **Tabela brasileira de composição de alimentos.** Disponível em: <<http://www.unicamp.br/nepa/taco>>. Acesso em: 05 agosto 2009.

USHIKUBO, F.Y.; WATANABE, A.P.; VIOTTO, L.A. Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice using polypropylene membrane. **Desalination**, v.200, p.549-551, 2006.

USHIKUBO, F.Y.; WATANABE, A.P.; VIOTTO, L.A. Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice. **Journal of Membrane Science**, v.288, p.61-66, 2007.

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

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

VANDRESEN, S.; QUADRI, M.G.N.; SOUZA, J. A. R. DE., HOTZA, D. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. **Journal of Food Engineering**, v.92, p.269-274, 2009.

VENTURINI FILHO, W.G. **Tecnologia de Bebidas.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, p 255-291, 2005.

VENTURINI FILHO, W.G.; DORNIER, M.; BELLEVILLE, M. P. Tangential microfiltration of orange juice in bench pilot. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.3, p.330-336, 2003.

VERA, E.; RUALES, J.; DORNIER, M.; SANDEAUX, J.; PERSIN, F., PORCELLY, G.; VAILLANTE, F.; REYNES, M. Comparison of different methods for deacidification of clarified passion fruit juice. **Journal of Food Engineering**, v.59, p.361-367, 2003.

VERCELLOTTI, J.R.; CLARKE, M.A.; GODSHALL, M.A. Sugarcane components that affect efficiency of membrane filtration: identification

and removal. **International Society for Sugar Cane Technologists**, XXIII Congress, New Delhi, India, 1999.

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

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

WATANABE, A.P.; USHIKUBO, F.Y.; VIOTTO, L.A. Evaluation of permeate flux in microfiltration of Tamarind (*Tamarindus Indica L.*) juice using polypropylene membrane. **Desalination**, v.200, p.337-338, 2006.

YOUN, K.S.; HONG, J.H.; BAE, D.H.; KIM, S.J.; KIM, S.D. Effective clarifying process of reconstituted apple juice using membrane filtration with filter-aid pretreatment. **Journal of Membrane Science**, v.228, p.179-186, 2004.

YUSOF, S.; SHIAN, L. S.; OSMAN, A. Changes in quality of sugarcane juice upon delayed extraction and storage. **Food Chemistry**, v.68, p.395-401, 2000.

CAPÍTULO 3

Efeitos da pasteurização e da microfiltração nas características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais de caldo de cana.

RESUMO

A garapa ou caldo de cana, bebida popularmente conhecida e comumente comercializada por vendedores ambulantes no Brasil, é um produto cuja obtenção tem-se revelado como um comércio lucrativo. Considerando-se tal importância, é de grande interesse o desenvolvimento de tecnologias que promovam a estabilidade da bebida por maiores períodos de tempo, possibilitando melhor distribuição comercial. Neste contexto esse trabalho teve como objetivo realizar a caracterização físico-química, microbiológica, reológica e sensorial do caldo de cana adicionado de polpa de maracujá *in natura* e submetido aos processos de microfiltração e pasteurização (90 °C e 95 °C/ 30 s). As bebidas obtidas após os processos de microfiltração e pasteurização apresentaram baixa contagem microbiana. A bebida microfiltrada apresentou redução do teor de sólidos solúveis, da acidez e do teor de vitamina C ($p < 0,05$), enquanto que nas bebidas pasteurizadas não houve alteração destes parâmetros ($p > 0,05$) em relação ao caldo *in natura*, com exceção do teor de vitamina C, que não foi detectado após o tratamento térmico. Com relação às propriedades reológicas, observou-se o comportamento newtoniano tanto na bebida microfiltrada, quanto nas pasteurizadas. O teste sensorial realizado para verificar a aceitação dos produtos indicou que as bebidas foram sensorialmente bem aceitas.

Palavras chave: microfiltração, pasteurização, reologia, análise sensorial.

ABSTRACT

Sugarcane juice, also known as “garapa”, is a popular drink commonly sold by street vendors in Brazil. It is a commercial product whose trade has been shown to be quite lucrative. Considering its economic importance, it is of great interest to developing technologies that promote stability of the drink for longer periods of time, allowing for better distribution. In this context, this work aims to determine the physical-chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics of sugarcane juice added of the passion fruit pulp and subjected to the processes of microfiltration and pasteurization (90 ° C/30 °C and 95 ° C/30 s). The drinks made after the processes of microfiltration and pasteurization showed low microbial count. The microfiltered drink decreased the soluble solids, acidity and vitamin C ($p < 0.05$), while in pasteurized beverages these parameters did not change ($p > 0.05$) compared to raw broth. An exception was of vitamin C, which was not detected after heat treatment. Regarding the rheological properties, newtonian behavior was observed in both the microfiltered and pasteurized drinks. The sensory test conducted to determine the acceptance of products indicated that the sensory drinks were acceptable.

Keywords: sugarcane juice, microfiltration, pasteurization, rheology, sensory evaluate.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) tem importância socioeconômica, desde sua introdução nos primeiros séculos após o descobrimento até os dias atuais. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (2009) a produção brasileira de cana-de-açúcar em 2009 foi próxima a 613 milhões de toneladas, caracterizando essa cultura como uma das principais atividades econômicas do país, tanto em termos de balança comercial, como na geração de empregos.

A cana-de-açúcar dá origem a uma diversificada gama de produtos, dentre eles destaca-se o caldo de cana, uma bebida nutritiva, energética, muito apreciada no Brasil. Essa bebida é caracterizada como um líquido opaco, de coloração que varia de parda ao verde escuro. Sua composição depende da variedade, idade e sanidade da cana, solo e condições climáticas (DELGADO; CESAR, 1977; OLIVEIRA et al., 2007).

De acordo com Oliveira et al. (2006), o mercado de caldo de cana é caracterizado pela venda através de ambulantes, quase sempre sem as mínimas condições higiênico-sanitárias necessárias à manipulação de alimentos. Devido à grande aceitação popular e facilidade de exploração, o caldo de cana pode alcançar um mercado consumidor com proporções ainda maiores (OLIVEIRA et al., 2006). As vantagens proporcionadas pela industrialização do caldo de cana relacionam-se à disponibilização de uma bebida segura e de elevada qualidade, em qualquer época do ano, independente do período de safra; ao aumento da vida útil; extensão do consumo a locais distantes da região de plantio, com a diminuição do volume de matéria prima transportado, resultando na diminuição de custos de transporte.

O processamento industrial adequado garante produtos seguros e mantém as características sensoriais e nutricionais do produto *in natura*, retardando a sua deterioração e prolongando sua vida útil (WILLARD, 2002).

A tecnologia dos obstáculos ou dos processos combinados é um conceito amplamente empregado no processamento de alimentos, em virtude de importantes vantagens que oferece (SENAI/SEBRAE, 1999; PRATI, 2004). Tal prática assegura a produção de alimentos de qualidade superior e vida de prateleira estendida. Os obstáculos atuantes na estabilização da bebida utilizados neste estudo com o caldo de cana

incluíram a redução do pH, por meio da adição de polpa de fruta ácida, a pasteurização e o envase asséptico da bebida pasteurizada termicamente. A microflora de produtos ácidos é relativamente restrita, apresentando microrganismos de menor resistência térmica (LEITÃO et al., 1981; OLIVEIRA et al., 2007), permitindo a utilização de temperaturas mais brandas durante a pasteurização.

Processos tecnológicos, que empregam baixas temperaturas, como o uso de membranas de microfiltração (MF), vêm se destacando, também, na indústria de sucos. O processo de MF se justifica por gerar um microfiltrado, líquido que ultrapassa a membrana (SABOYA; MAUBOIS, 2000), com relevante valor nutricional e funcional, sendo também capaz de remover bactérias (HONER, 1991; GIRARD; FUKUMOTO, 2000; CASSANO et al., 2007). Além disso, a tecnologia de separação por membranas é um método atrativo para a indústria de sucos, pois além de empregar temperaturas brandas para a pasteurização, minimizando danos causados pelo calor, possibilita a eliminação de etapas da clarificação convencional de sucos, reduzindo tempo, energia, mão-de-obra e gastos com coadjuvantes de clarificação (GIRARD; FUKUMOTO, 2000).

Considerando que o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (AGRIANUAL, 2007) e que nacionalmente a garapa é bastante apreciada, seria de grande interesse o desenvolvimento de tecnologias que promovessem a conservação do produto por maiores períodos de tempo, possibilitando sua melhor distribuição comercial. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo estudar as características físico-químicas, microbiológicas, reológicas e sensoriais do caldo de cana adicionado de polpa de maracujá submetido ao processo de MF e pasteurização convencional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matéria-prima

O caldo de cana utilizado nos processamentos foi extraído de canas-de-açúcar (*Saccharum ssp*) variedade SP 3250, fornecida pela usina São Luiz, Pirassununga/SP, Brasil.

A polpa congelada de maracujá amarelo (*Passiflora edulis*) foi adquirida da DeMarchi Indústria e Comércio de Frutas Ltda., Jundiaí/SP, Brasil.

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico (P.A.).

2.2 Preparo da bebida

A cana-de-açúcar foi higienizada em solução de cloro ($6 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) por 20 min, seguida da extração do caldo em moenda elétrica, construída em aço inoxidável (Maqtron - Joaçaba/SC, Brasil), ao qual foram adicionados 5 % (v/v) de polpa de maracujá (caldo acidificado). A escolha desta concentração foi baseada em estudos anteriores realizados por Prati (2004), que após análise sensorial, indicaram esta concentração como adequada.

2.3 Microfiltração (MF)

O caldo de cana acidificado foi microfiltrado em uma unidade piloto com fluxo tangencial, utilizando-se membrana orgânica (MF-1, PAM Membranas Seletivas, RJ, Brasil), de poli(imida), tipo fibra oca, com diâmetro médio de corte de $0,4 \mu\text{m}$ e área filtrante útil de $0,7 \text{ m}^2$. Na MF foram utilizadas as seguintes condições operacionais: temperatura (T), pressão transmembrana (Pt) e velocidade tangencial (Vt) iguais a $45 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 bar e $0,87 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Após cada ensaio de MF, procedeu-se à limpeza e higienização do equipamento, segundo instruções do fabricante.

2.4 Pasteurização

O processamento térmico (pasteurização) foi realizado em uma planta piloto. O caldo acidificado foi pasteurizado em um trocador de calor a placas elétrico com vazão nominal de $150 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, equipado com válvula pneumática de retorno de produto não pasteurizado (Sumá Indústria e Comércio Ltda. - Campinas/SP, Brasil), seguindo para um tanque pulmão isotérmico em poliuretano de 85 L (Sumá Indústria e Comércio Ltda. - Campinas/SP, Brasil) e permanecendo neste até o envase.

Foram produzidos dois lotes de aproximadamente 100 kg de caldo, sendo cada lote processado de acordo com um binômio de pasteurização. Foram utilizados os seguintes binômios tempo/temperatura: processamento 1 (P1) $90 \text{ }^\circ\text{C}/30 \text{ s}$ e processamento 2 (P2) $95 \text{ }^\circ\text{C}/30 \text{ s}$.

Antes de cada processamento, o equipamento foi sanitizado com uma solução 0,1 % de Proxitane 1512 AL (agente ativo peróxido de hidrogênio), durante 30 min à temperatura de $55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Após cada processamento foi realizada a limpeza do equipamento alternando limpeza alcalina e ácida de acordo com as recomendações do fabricante.

2.4.1 Envase asséptico

Ao término do processamento, a bebida foi imediatamente envasada em garrafas de PET transparentes (320 mL), utilizando uma cabine de fluxo de ar unidirecional horizontal (ISO classe 5) (Veco do Brasil - Campinas/SP, Brasil) para assegurar o envase asséptico. O envase da bebida foi conduzido por meio de uma dosadora gravimétrica microprocessada semi-automática (Polineva-Movitron - São Paulo/SP, Brasil)

Antes da utilização, as garrafas PETs foram sanitizadas com Proxitane 1512 AL. As embalagens permaneceram imersas em solução 0,05 % de sanitizante durante 20 min à temperatura de 45 °C.

2.5 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas de acordo com a metodologia descrita pela APHA (2001), sendo determinada a contagem total de mesófilos, bolores e leveduras, coliformes a 45 °C e *Salmonella ssp.* Os resultados foram expressos em Unidade Formadora de Colônia (UFC) por mL de produto e número mais provável (NMP) por mL de produto.

2.6 Análises físico-químicas

As amostras do caldo de cana acidificado, microfiltrado e pasteurizado foram analisadas quanto a acidez titulável, através da titulação com NaOH e indicador fenolftaleína (IAL, 2005); sólidos solúveis, pela leitura a 20 °C em refratômetro de bancada (QUIMIS Q767A1- Diadema/SP, Brasil); pH, através da leitura a 25°C em potenciômetro (QUIMIS Q 400A - Diadema/SP, Brasil); ratio através da relação sólidos solúveis/acidez; e vitamina C, pela titulação com solução de KI (iodeto de potássio) e indicador solução de amido (IAL, 2005).

2.7 Análise reológica

As bebidas microfiltradas e pasteurizadas foram submetidas à análise reológica em viscosímetro rotacional Thermo Haake DC 10 (modelo VT 550, Thermo Haake, Karlsruhe, Alemanha), com cilindros concêntricos (NV ST 807-0713 CE e NV 807-0702). Os dados foram coletados utilizando o software Pro Rheowin[®] (versão 2.93). As análises reológicas foram obtidas com variação da taxa de deformação de 0 a 1800 s⁻¹ (curva ascendente) e de 1800 a 0 s⁻¹ (curva descendente), com um tempo de 5 minutos para cada curva. Para a bebida microfiltrada as medidas foram feitas às temperaturas de 10, 15, 25, 35, 45 e 50 ± 0,1 °C, e para a bebida pasteurizada utilizaram-se as temperaturas de 10, 15, 35, 55, 75 e 95 ± 0,1 °C. As leituras foram feitas em duplicata, sendo que em cada medida foi usada uma nova amostra. O comportamento de fluxo foi descrito pelo modelo de Newton (Equação 1) e Lei da Potência (Equação 2).

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (1)$$

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

Onde: τ é a tensão de cisalhamento (N·m⁻² ou Pa); μ a viscosidade absoluta ou dinâmica (Pa·s); $\dot{\gamma}$ a taxa de deformação (s⁻¹); K o índice de consistência (Pa·sⁿ); e n o índice de comportamento (adimensional).

2.8 Análise sensorial

Para avaliar a aceitação dos produtos processados (microfiltrado e pasteurizado) foi aplicado o teste afetivo de aceitação de acordo com Meilgaard et al. (1999), utilizando-se escala hedônica estruturada de 9 pontos, com a nota 9 significando gostei muitíssimo e a nota 1, desgostei muitíssimo (Anexo 1). O teste de aceitação foi aplicado a uma equipe de 50 julgadores não treinados, mas consumidores de caldo de cana, utilizando-se o modelo experimental de blocos casualizados. O teste foi aplicado em cabines individuais, utilizando-se luz branca e servido em copos descartáveis de 50 mL, em temperatura de 15°C ± 1°C, sempre 2 h após as refeições. As amostras foram servidas monadicamente.

Foi também avaliada a intenção de consumo do produto com escala estruturada de 5 pontos, com nota 5 significando certamente consumiria e nota 1, certamente não consumiria. Antes dos testes, o presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética (Processo 230/09, FR-278132).

2.9 Análise dos resultados

As médias, o desvio padrão, a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey (5 % de significância) dos dados foram obtidos através do *software* STATISTICA versão 7.0 (2001) (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise microbiológica

Os resultados das análises microbiológicas para a bebida acidificada, para a bebida microfiltrada e bebida pasteurizadas P1 (90 °C/30 s) e P2 (95 °C/30 s), são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Características microbiológicas do caldo de cana acidificado antes e após a microfiltração e pasteurização térmica.

	Caldo acidificado	Bebida MF	Bebida P1*	Bebida P2**
Contagem Total (UFC·mL ⁻¹)	1,2x10 ⁶	1	3,5x10 ²	7,5x10 ¹
Bolores e leveduras (UFC·mL ⁻¹)	1,7x10 ⁴	< 1x10 ¹	<1x10 ¹	<1x10 ¹
Coliformes a 45°C (NMP·mL ⁻¹)	<0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
<i>Salmonella</i>	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência

P1 = pasteurização sob binômio 90 °C/30 s;

P2 = pasteurização sob binômio 95 °C/30 s.

Na bebida *in natura*, observou-se uma alta carga microbiana para contagem total e bolores e leveduras. Kitoko et al. (2004) e Melo et al. (2007), relatam que do ponto de vista microbiológico, o caldo de cana naturalmente contém muitos microrganismos em seus colmos, raízes e folhas. Ainda, segundo Duncan e Colmer (1964), canas-de-açúcar saudáveis podem conter de 10^1 a 10^8 colônias de bactérias por grama do colmo.

Após a MF observou-se uma expressiva redução das cargas microbianas para contagem total de mesófilos e bolores e leveduras, apresentando reduções de 6 e 3 log UFC·mL⁻¹, respectivamente. De acordo com Guerra et al. (1997) e Saboya e Maubois (2000), a redução bacteriana na MF deve ser de 4 a 5 log UFC·mL⁻¹, no entanto esta poderá ser menor em decorrência da menor contaminação bacteriana no produto *in natura* (TROUVÉ et al. 1991).

O uso da MF para a obtenção de produtos livres de microrganismos foi estudada por diversos autores (GÜELL; DAVIS, 1996; DRIOLI; ROMANO, 2001; LÓPEZ et al., 2005) e tem se mostrado bastante eficiente, gerando permeados de alta qualidade e parâmetros microbiológicos dentro dos limites exigidos pela legislação, como aqueles encontrados por Carvalho et al. (2002) em suco de abacaxi, Matta et al. (2004) em suco de acerola e Paula et al. (2004) em suco de maracujá.

Com relação às bebidas pasteurizadas, também foi possível observar redução da carga microbiana após o processamento para contagem total e bolores e leveduras, porém, em menor escala para a contagem total, quando comparado a bebida microfiltrada. Foi possível obter uma redução de 3 log UFC·mL⁻¹, para contagem total de mesófilos e bolores e leveduras na bebida pasteurizada P1. Já para a bebida pasteurizada P2, obteve-se redução de 4 e 3 log UFC·mL⁻¹, para contagem total mesófilos e bolores e leveduras, respectivamente. A maior redução microbiana na bebida P2 deve-se naturalmente à utilização de maior temperatura (95 °C).

Suzart (2009) avaliou a estabilidade microbiológica do caldo de cana adicionado de dimetil dicarbonato (utilizado como agente de controle de microrganismos para a conservação de bebidas com pH entre 2,0 e 4,2) e submetido ao tratamento térmico a 90 °C/ 40 s. O autor encontrou valores de contagem total para o produto pasteurizado semelhantes aos observados nesse estudo (entre 2,6 - 9,8 x10² UFC·mL⁻¹), encontrando reduções microbianas de 4 log UFC·mL⁻¹.

Ainda em relação à Tabela 1, verifica-se que uma baixa contagem de coliformes à 45 °C e *Salmonella spp* em todas as amostras avaliadas.

Para a manutenção da qualidade do caldo de cana, a Resolução RDC nº12/ 2001 (BRASIL, 2001) define os padrões microbiológicos para análises de alimentos, especificando para o caldo de cana pasteurizado e refrigerado (isolado ou em misturas) apenas a presença de coliformes à 45 °C e *Salmonella sp.*, estabelecendo um limite máximo de 10 NMP·mL⁻¹ e ausência, respectivamente. Desta forma, observa-se que ambas as bebidas encontram-se dentro dos níveis exigidos pela legislação em vigor. Portanto, as baixas contagens de microrganismos, observadas no caldo microfiltrado e pasteurizado, asseguram qualidade microbiológica adequada para o consumo.

3.2 Análises físico-químicas

Os resultados das análises físico-químicas das matérias-primas e das bebidas são mostrados na Tabela 2. Observa-se que a polpa de maracujá apresentou alta acidez (2,54 mg ácido cítrico·100 mL⁻¹) e pH em torno de 2,95. De acordo com Medina et al., (1980) o principal ácido do maracujá é o ácido cítrico que constitui 93 - 96 % da acidez total, além do ácido málico, responsável por 4 a 7 %.

Tabela 2 Características físico-químicas da polpa de maracujá, caldo de cana puro e acidificado e da bebida microfiltrada e pasteurizada.

	pH	SS* (°Brix)	Acidez**	ratio***	Vitamina C
Polpa maracujá	2,95 ± 0,04	10,30 ± 0,20	2,54 ± 0,06	4,05 ± 0,02	ND
Caldo de cana	5,32 ^a ± 0,03	22,13 ^a ± 0,50	0,032 ^a ± 0,01	679,69 ^a ± 0,01	5,64 ^a ± 0,05
Caldo acidificado	3,82 ^b ± 0,02	21,37 ^{ab} ± 0,21	0,11 ^c ± 0,01	191,37 ^b ± 3,45	5,34 ^b ± 0,10
Bebida MF	3,98 ^b ± 0,02	18,63 ^c ± 0,12	0,09 ^b ± 0,01	180,79 ^b ± 10,92	5,22 ^c ± 0,05
Bebida P1****	3,88 ^b ± 0,08	21,00 ^b ± 0,12	0,12 ^c ± 0,01	179,39 ^b ± 3,74	ND
Bebida P2*****	3,82 ^b ± 0,05	20,56 ^b ± 0,21	0,12 ^c ± 0,01	175,89 ^b ± 3,56	ND

a,b,c - Médias seguidas com a mesma letra na vertical (coluna) não diferem estatisticamente (5 % de significância); ND - Não detectada; * Sólidos solúveis; ** (mg ácido cítrico·100 mL⁻¹); *** (mg de vitamina C·100 mL⁻¹); ****P1 (90°C / 30 s); ***** P2 (95°C / 30 s).

A polpa de maracujá apresentou 10,3 °Brix em média. Este valor está de acordo com estudos realizados por Garruti (1989) e Prati et al. (2005) para sucos comerciais de maracujá, cuja composição química, assim como qualquer outra fruta, varia em função de fatores como espécie, época da colheita, estágio de maturação, solo e clima da região de cultivo, entre outros.

O caldo de cana *in natura* apresentou pH de 5,32 e sólidos solúveis em torno de 22 °Brix, caracterizando este como um produto altamente perecível e suscetível ao desenvolvimento de microrganismos. Os valores das análises realizadas apresentaram-se dentro da faixa encontrada na literatura (IBGE, 1999; UNICAMP, 2006; OLIVEIRA et al., 2007), com possíveis variações em função de fatores ambientais, época da colheita, grau de maturação entre outros. Suzart (2009) avaliou as características físico-químicas de diversas variedades de cana-de-açúcar em diferentes épocas do ano e encontrou valores próximos ao deste trabalho.

O caldo acidificado apresentou um decréscimo do pH (3,82), aumento da acidez (0,11 mg ácido cítrico·100 mL⁻¹) e diminuição no teor de vitamina C após a adição da polpa de maracujá, apresentando diferença significativa ($p < 0,05$) com relação ao caldo puro. O pH inferior a 4 classifica o caldo de cana adicionado de polpa de maracujá como ácido, condição que desfavorece o desenvolvimento de um grande número de bactérias bem como a atividade da enzima polifenoloxidase, cujo pH ótimo de atividade é 7,2 (YON; JAAFAR, 1994). Com relação aos sólidos solúveis não houve diferença ($p > 0,05$) quando comparado ao caldo puro, entretanto o ratio apresentado pelo caldo acidificado foi aproximadamente 3,5 vezes menor, devido ao aumento da acidez.

De acordo com Benassi Jr. (2001, 2005) o ratio reflete o grau de doçura e é utilizado como indicador da qualidade e maturação do suco da fruta. A redução do ratio indicou que houve um aumento da acidez, como observado após a adição da polpa de maracujá. Segundo Thé et al. (2001), o sabor dos frutos é determinado, em grande parte, pelo balanço de ácidos e açúcares e avaliado pela relação entre sólidos solúveis e acidez titulável.

A bebida microfiltrada apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) das demais com relação aos sólidos solúveis e acidez, apresentando valores de 18,63 °Brix e 0,09 mg ácido cítrico·100 mL⁻¹, respectivamente. Segundo Matta et al. (2000), a remoção de toda a polpa do suco e a retenção das macromoléculas pela membrana são as possíveis responsáveis pela redução dos sólidos solúveis. Com relação à redução da acidez, é possível que durante a MF tenha ocorrido

concentração de ácidos não-dissociados, sem alterar a concentração de íons de hidrogênio, já que o pH se manteve constante durante o processo (BARROS et al., 2003; USHIKUBO et al., 2007).

De acordo com Carvalho et al. (2000, 2006, 2008), é comum a redução de constituintes durante o processo de clarificação, principalmente aqueles de maior massa molar, como a pectina e amido, que são os responsáveis pela turbidez. Os monossacarídeos e dissacarídeos podem também ter suas concentrações reduzidas no permeado, em função da seletividade e porosidade da membrana. Açúcares, sólidos solúveis, ácidos orgânicos e minerais sofrem uma redução menos importante que outros constituintes de alta massa molar. Entretanto, na MF, em função do ponto molar de corte da membrana, sua configuração, estrutura e temperatura utilizada (WANG et al., 2005), bem como a ocorrência de polarização de concentração e *fouling*, esses valores podem ser reduzidos ou até mesmo ampliados (VLADISAVLJEVI et al., 2003).

O pH e o ratio não apresentaram diferença estatística ($p > 0,05$) entre caldo acidificado *in natura* e os processados, apresentando valores entre 3,82 e 3,98 para o pH e 175,89 e 191,37 para o ratio. Não houve alteração nos parâmetros analisados em relação às diferentes temperaturas utilizadas na pasteurização. Ainda com relação às bebidas pasteurizadas, não houve diferenças significativas entre os parâmetros analisados quando comparados ao caldo acidificado *in natura*, com exceção ao teor de vitamina C, que não foi detectado após a pasteurização.

Em estudo realizado por Prati et al. (2005) durante a pasteurização (75 °C/ 15 s) de caldo de cana adicionado de frutas ácidas foram encontrados valores próximos aos deste trabalho para pH, acidez e sólidos solúveis (4,0; 0,16 % ácido cítrico e 22,6 °Brix, respectivamente). Entretanto, os teores de vitamina C foram mais elevados (13,64 mg vitamina C · 100 mL⁻¹). Esta diferença com relação ao teor de vitamina C pode ser explicada pelo uso de polpa de frutas ácidas natural, com teor de vitamina C mais alto, enquanto no presente trabalho a polpa de maracujá utilizada foi previamente pasteurizada antes do congelamento. Mesmo assim o caldo de cana não é considerado uma fonte de vitamina (IBGE, 1999; FRANCO, 2001).

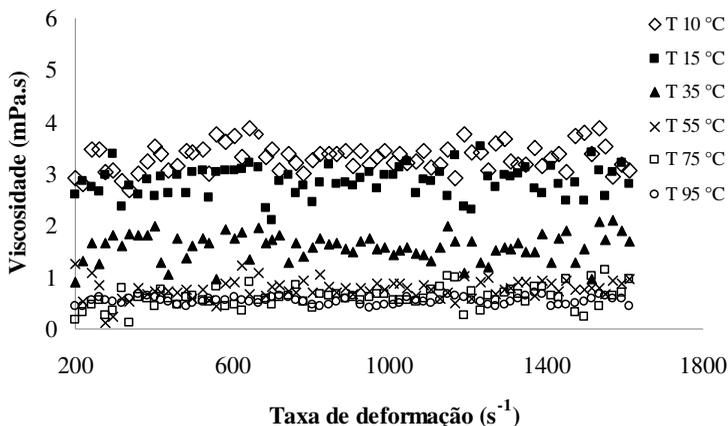
Existe uma vasta literatura que aborda a oxidação química da vitamina C e/ou degradação térmica como consequência do branqueamento, cozimento, pasteurização, esterilização, desidratação e congelamento (VAN DEN BROECK, 1998; POLYDERA et al., 2005; BURDURLU et al., 2006). A redução do teor de vitamina C em bebidas

pasteurizadas também pode ser consequência do seu consumo como reagente da reação de Maillard (DJILAS; MILIC, 1994).

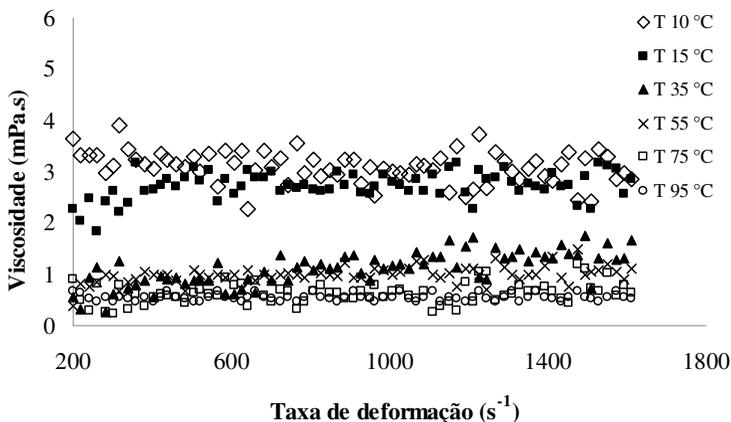
3.3 Análise reológica

A Figura 1 (a), (b) e (c) ilustra o comportamento reológico do caldo acidificado submetido ao processo de pasteurização P1 (90 °C/30 s), P2 (95 °C/30 s) e do caldo microfiltrado, respectivamente. Consideraram-se as curvas descendentes e somente as viscosidades obtidas a taxas de cisalhamento acima de 200 s⁻¹ e abaixo de 1600 s⁻¹.

(a)



(b)



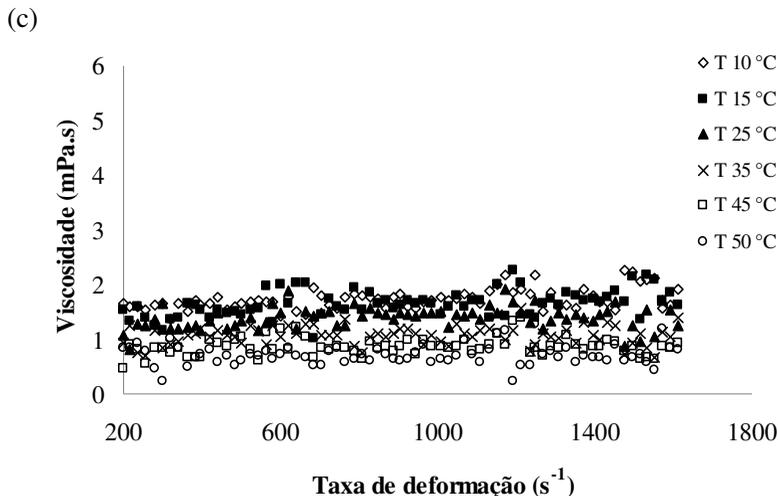


Figura 1 Comportamento reológico do (a) caldo de cana pasteurizado P1 (90 °C/30 s); (b) caldo de cana pasteurizado P2 (95 °C/30 s) e (c) caldo de cana microfiltrado nas diferentes temperaturas estudadas.

Observa-se que a viscosidade se mantém constante com a variação da taxa de deformação indicando que a bebida pasteurizada se comporta como um fluido newtoniano. Este comportamento foi comum em ambos os tratamentos aplicados (MF, P1 e P2), variando apenas em magnitude para cada um deles.

De acordo com Sharma et al. (2000) o comportamento newtoniano é função do teor de polpa. Assim, sucos despulpados se comportam como newtonianos e o comportamento reológico se altera em função do conteúdo de polpa, por ação enzimática ou mesmo mecânica que modifiquem a estrutura da polpa. Por outro lado, Tanglertpaibul e Rao (1987) e Queiroz et al. (2000) reportaram que o comportamento reológico de sucos e purês de frutas está ligado aos teores de sólidos solúveis em suspensão em função da forma, tamanho, concentrações das partículas suspensas e da estrutura do sistema. Desta forma, acredita-se que o comportamento newtoniano do caldo de cana acidificado *in natura* e submetido aos diferentes processos, ocorre devido sua composição ser basicamente água e açúcares (STUPIELLO, 1987).

Nindo et al. (2005) estudaram o comportamento reológico de suco de mirtilo e framboesa variando a concentração de sólidos solúveis

(10 a 65 ° Brix) e a temperatura (20 a 60 °C) e encontraram comportamento newtoniano em toda a faixa estudada, estando de acordo com os resultados obtidos nesse estudo.

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os resultados dos parâmetros reológicos após ajuste aos modelos de Newton e Lei da Potência, respectivamente, para as bebidas microfiltrada e pasteurizada. Após o ajuste aos modelos reológicos, confirmou-se o comportamento tipicamente newtoniano das bebidas, uma vez que os resultados do índice de comportamento (n) obtidos do ajuste ao modelo da Lei da Potência são próximos da unidade 1 (um).

Observa-se que os modelos descrevem de forma satisfatória o comportamento reológico das amostras, apresentando coeficientes de correlação (R) entre 0,90 e 0,99. Algumas anormalidades nos dados de tensão de cisalhamento foram observadas com o progressivo aumento da temperatura, ou seja, dispersão dos pontos na curva de fluxo, gerando coeficientes de correlação menores.

Tabela 3 Parâmetros reológicos a bebida microfiltrada e pasteurizada (P1 e P2), obtidos pelo ajuste ao modelo de Newton.

Viscosidade (mPa·s)							
T (°C)	Bebida MF	R*	T (°C)	Bebida P1 (90 °C/30 s)	R	Bebida P2 (95 °C/30 s)	R
10	1,734 ± 0,13	0,9805	10	3,313 ± 0,26	0,9895	3,024 ± 0,31	0,9842
15	1,648 ± 0,41	0,9652	15	2,848 ± 0,28	0,9807	2,777 ± 0,26	0,9900
25	1,388 ± 0,11	0,9805	35	1,527 ± 0,26	0,9343	1,282 ± 0,32	0,9605
35	1,068 ± 0,07	0,9370	55	0,722 ± 0,18	0,9377	1,109 ± 0,16	0,9645
45	0,864 ± 0,22	0,9477	75	0,675 ± 0,20	0,9555	0,677 ± 0,20	0,9121
50	0,711 ± 0,16	0,9315	95	0,535 ± 0,07	0,9457	0,547 ± 0,06	0,9105

*Coeficiente de correlação (R)

Tabela 4 Parâmetros reológicos obtidos para a bebida microfiltrada e pasteurizada (P1 e P2), obtidos pelo ajuste ao modelo Lei da Potência.

Bebida MF				Bebida P1			Bebida P2			
T (°C)	K* (Pa.s ⁿ)	n**	R***	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n	R	K (Pa.s ⁿ)	n	R
10	0,0007	1,138	0,9824	10	0,0031	1,009	0,9921	0,0042	0,953	0,9850
15	0,0007	1,138	0,9726	15	0,0024	1,023	0,9862	0,0023	1,023	0,9906
25	0,0014	1,058	0,9952	25	0,0011	1,046	0,9641	0,0012	1,110	0,9734
35	0,0006	0,985	0,9479	35	0,0003	1,135	0,9612	0,0003	1,169	0,9674
45	0,0015	0,943	0,9582	45	0,0001	1,168	0,9734	0,0001	1,137	0,9252
50	0,0001	1,089	0,9551	50	0,0001	1,115	0,9633	0,0001	1,147	0,9204

* Índice de consistência (K); ** Índice de comportamento de fluxo (n);*** Coeficiente de correlação (R)

A viscosidade da bebida microfiltrada foi menor, variando de 0,711 a 1,734 mPa·s em relação às bebidas pasteurizadas (0,535 a 3,313 mPa·s) em todas as temperaturas estudadas. Isto porque o processo com membranas provoca a completa remoção dos sólidos suspensos, que é um dos fatores responsáveis por viscosidades mais elevadas. De acordo com Crandall et al. (1982), o permeado obtido após processamento com membranas é composto basicamente de açúcares e ácidos e por isso geralmente apresenta características de fluido newtoniano. Baixas viscosidades e comportamento newtoniano também foram relatados para suco clarificado de abacaxi (CARNEIRO et al, 2002), de manga (SINGH; EIPESON, 2007) e de pitanga (ONGARATTO; VIOTTO, 2009).

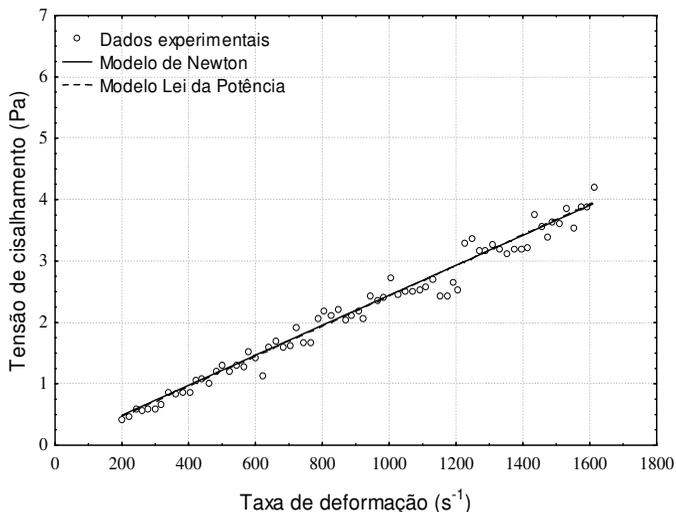
Com relação à temperatura, verifica-se que para ambas as amostras, ocorre uma diminuição da viscosidade em função do aumento da temperatura com taxas de deformação crescentes. Segundo Pelegrine et al. (2000) e Haminiuk et al. (2006), com o aumento da temperatura, a energia térmica e as distâncias moleculares aumentam devido à redução das forças intermoleculares. Associado ao aumento da temperatura tem-se um aumento na tensão de cisalhamento, o que faz com que as partículas se reorganizem em direções paralelas, ocorrendo a quebra em partículas menores. As mesmas podem escoar mais facilmente, como

um resultado da diminuição da interação partícula-partícula, a qual resulta na diminuição da viscosidade.

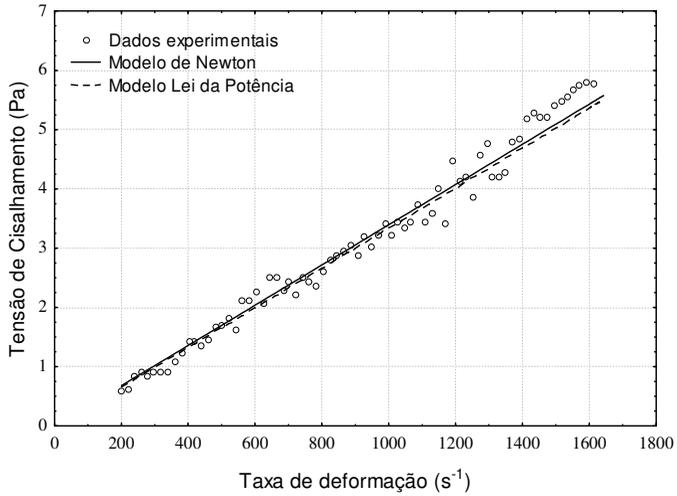
Do ponto de vista industrial, a diminuição da viscosidade facilita o escoamento da polpa e a troca de calor durante o processamento. Sabe-se que quanto menor a viscosidade de um fluido, menor é a perda de carga durante o escoamento, o que resulta em um menor gasto de energia.

O ajuste dos modelos de Newton e Lei da Potência aos resultados experimentais pode também ser visualizado na Figura 2 (a) para o caldo de cana microfiltrado, Figura 2 (b) para o caldo de cana pasteurizado P1 (90 °C/30 s) e Figura 2 (c) para o caldo pasteurizado P2 (95 °C/30 s), na temperatura de 10 °C. Para as demais temperaturas os comportamentos foram similares, como pode ser previsto pelos valores dos coeficientes de correlação (R). Dessa forma, pôde-se observar que ambos os modelos foram adequadamente empregados, ou seja, conseguiram descrever o comportamento reológico do caldo de cana submetido aos diferentes processos.

(a)



(b)



(c)

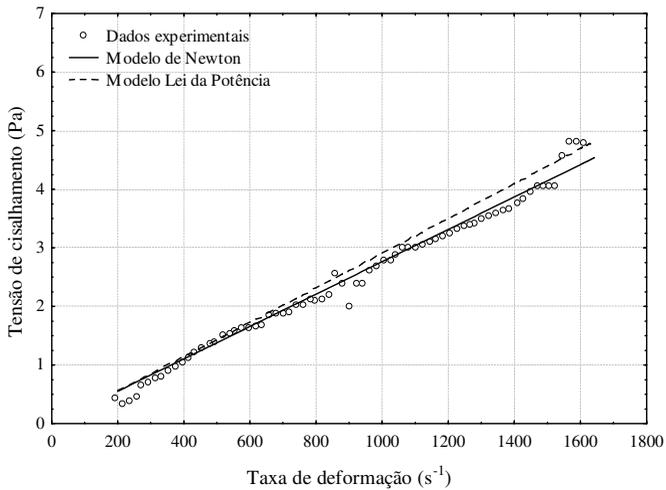


Figura 2 Representação gráfica do ajuste aos modelos de Newton e da Lei da Potência para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para: (a) o caldo microfiltrado , (b) caldo pasteurizado P1 e (c) caldo pasteurizado P2 na temperatura de 10 °C

3.4 Análise sensorial

A tabela 6 apresenta a aceitação das amostras em relação aos atributos sensoriais, aparência, aroma, sabor, impressão global e intenção de consumo. Através dos resultados obtidos, observou-se que os diferentes processos aplicados no caldo de cana acidificado influenciaram na aceitabilidade sensorial das bebidas.

Tabela 5 Análise sensorial do caldo de cana adicionado de 5 % de maracujá in natura, da bebida microfiltrada e pasteurizada (P1 e P2) com a média de notas e índice de aceitabilidade para os atributos aparência, aroma, sabor, impressão global e intenção de consumo.

Atributos	Caldo acidificado		Bebida microfiltrada		Bebida P1**		Bebida P2***	
	Notas	IA*	Notas	IA*	Notas	IA*	Notas	IA*
	Médias	(%)	Médias	(%)	Médias	(%)	Médias	(%)
Aparência	6,30 ^a	70	7,30 ^b	81	7,66 ^b	85	8,24 ^c	92
Aroma	7,74 ^{ab}	86	7,12 ^a	80	8,18 ^{bc}	91	8,20 ^c	91
Sabor	7,16 ^a	80	7,44 ^{ba}	83	7,98 ^b	89	8,30 ^c	92
Impressão Global	7,02 ^a	78	7,48 ^b	83	7,74 ^b	86	8,16 ^c	91
Intenção de consumo	3,46 ^a	62	3,84 ^a	80	4,22 ^{ab}	83	4,24 ^b	86

a,b,c - Médias seguidas com a mesma letra na horizontal (linha) não diferem estatisticamente (5 % de significância); *IA - Índice de aceitabilidade (TEIXEIRA, 1987); ** P1 - bebida pasteurizada (90 °C /30 s); *** P2 - bebida pasteurizada (95 °C /30 s)

De modo geral houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre os processos aplicados para os diferentes atributos avaliados. O caldo de cana acidificado *in natura* obteve as menores notas e foi o menos preferido sensorialmente com relação aos atributos aparência (6,30), sabor (7,16) e impressão global (7,02), provavelmente devido à coloração mais escura que este apresentou, causada pela ação enzimática (polifenoloxidase e peroxidase), entre outros fatores, o que pode ter levado à alterações de sabor.

De acordo com Souto et al. (2004), as enzimas podem participar de um grande número de reações oxidativas e de biodegradação, tais

como mudança de cor, degradação da clorofila, oxidação de fenóis, e muitos destes fatores também podem ser associados com *flavour*, cor, textura e qualidade nutricional dos alimentos. Elas são responsáveis pelo escurecimento em frutas e vegetais e seus produtos processados (COELHO et al., 2002). Estas enzimas podem ser inativadas na presença de calor, como a pasteurização ou mesmo serem retidas através dos processos com membranas, utilizados nos processos industriais, evitando assim o escurecimento enzimático dos sucos e polpas de frutas. O índice de aceitabilidade para o caldo de cana acidificado também foi menor em relação aos tratamentos, variando de 70 a 86 %. Um índice acima de 70% de aprovação revela uma boa aceitação segundo Teixeira et al. (1987) e Dutcoski (1996).

Com relação à bebida microfiltrada, observou-se que esta apresentou médias iguais estatisticamente ($p > 0,05$) ao caldo pasteurizado P1 (90 °C/30 s), com exceção ao atributo aroma, que apresentou menor nota em relação a todas as amostras. Uma possível explicação é que durante a MF pode ter ocorrido a retenção de compostos voláteis, responsáveis pelo aroma característico da bebida. De acordo com Thomazini e Franco (2000), o gosto é atribuído aos compostos não voláteis nos alimentos, tais como açúcares, sais, limonin ou cafeína e ácidos. O aroma é bem mais complexo e é devido a dezenas e centenas de substâncias voláteis, representantes de várias classes químicas.

As bebidas pasteurizadas P1 e P2 não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) com relação ao atributo aroma, apresentando valores de nota em torno de 8,18 e 8,20, respectivamente. Os demais atributos apresentaram diferença significativa a um nível de confiança de 95 %, indicando que a bebida pasteurizada P2 recebeu as maiores notas para os atributos aparência, sabor e impressão global, apresentando aceitação geral entre “gostei muito” e “gostei muitíssimo”, correspondendo a um índice de aceitabilidade superior a 90 %.

Prati (2004), avaliou a aceitação sensorial de caldo de cana parcialmente clarificada-estabilizada com frutas ácidas (limão, abacaxi e maracujá), através da escala hedônica estruturada de 9 pontos. As amostras foram sensorialmente aceitas, entretanto as notas médias foram menores das encontradas neste trabalho para ambos os atributos avaliados (entre 4,91 e 6,83). Com relação ao atributo intenção de consumo a maior porcentagem das notas ficaram em “possivelmente compraria”.

A distribuição das notas quanto ao atributo intenção de consumo são apresentadas na Figura 3. Percebe-se que grande parte das notas

situam-se na região indicativa de aprovação e consumo dos produtos. A maior porcentagem das notas de intenção de compra ficou em “possivelmente compraria” e “certamente compraria” para ambas as bebidas, que teriam boa aceitação junto ao mercado consumidor. Em torno de 17 e 8 % dos consumidores provavelmente não comprariam o caldo acidificado *in natura* e o caldo microfiltrado, respectivamente.

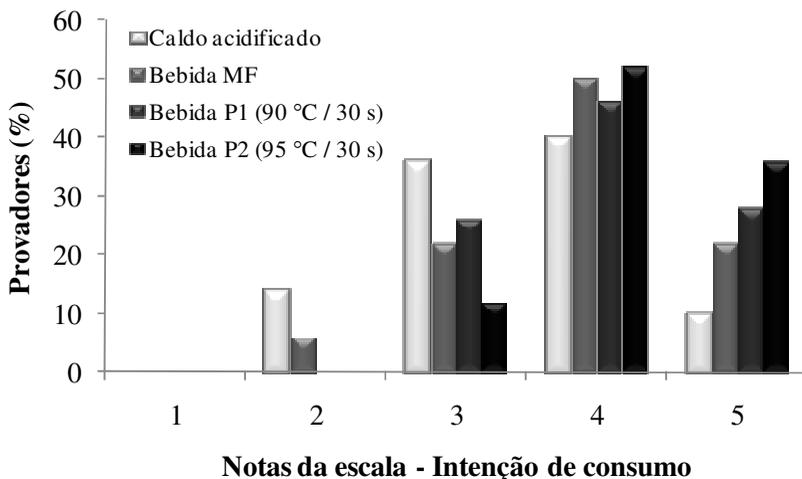


Figura 3 Distribuição das notas quanto ao atributo intenção de consumo para o caldo acidificado *in natura*, bebida microfiltrada, bebida pasteurizada P1 e bebida pasteurizada P2.

Portanto, o uso da MF utilizando temperaturas mais amenas, contribuiu para que as perdas sensoriais do produto processado fossem reduzidas, levando à uma maior aceitação do produto. Da mesma forma, a pasteurização de uma bebida ácida ($\text{pH} < 4,5$), como o caldo de cana acidificado utilizado neste trabalho, o tratamento térmico pode ser mais brando, preservando as suas propriedades sensoriais. Isto porque a acidez do produto, por si só um fator de restrição ao crescimento de algumas espécies de microrganismos (LEWIS; HEPPELL, 2000).

CONCLUSÕES

As determinações microbiológicas das bebidas submetidas aos processamentos de pasteurização e microfiltração, apresentaram reduções nas contagens de mesófilos e bolores e leveduras, quando comparado ao caldo de cana *in natura*, evidenciando que os tratamentos utilizados foram eficazes. A microfiltração mostrou-se mais eficiente reduzindo 6 e 3 log UFC·mL⁻¹ para contagem total de mesófilos e bolores e leveduras, respectivamente. Nas condições de pesquisa em questão, a determinação de coliformes a 45 °C e *Salmonella* indicaram boas condições fitossanitárias de processamento das bebidas, estando dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

O tratamento térmico não alterou as características físico-químicas da bebida, com exceção da vitamina C, que não foi detectada após a pasteurização. Na microfiltração houve retenção de sólidos solúveis; e redução da acidez e do teor de vitamina C ($p < 0,05$). Mesmo ocorrendo a retenção da vitamina C, observou-se que o processo não degradou a mesma, uma vez que esta se manteve quase em sua totalidade após a microfiltração.

Os modelos de Newton e Lei da Potência foram aplicados com sucesso para descrever o comportamento de escoamento da bebidas pasteurizada e microfiltrada, que apresentaram comportamento newtoniano com um índice de comportamento próximo a 1 (um).

Considerando os resultados do teste de aceitação e intenção de consumo, a bebida a pasteurizada P2 (95 °C/30 s) recebeu as maiores notas para os atributos estudados, seguido da bebida P1 (90 °C/30s) e da bebida microfiltrada, entretanto ambas apresentaram aceitação superior a 80 %. A intenção de consumo recebeu notas situadas na região indicativa de aprovação e consumo dos produtos (“possivelmente compraria” e “certamente compraria”).

Finalmente, conclui-se que a microfiltração é uma alternativa viável aos processos térmicos na conservação de caldo de cana, visto que as propriedades físico-químicas foram pouco alteradas e a bebida obtida apresentou boa aceitação sensorial. As principais vantagens deste processo são uso de menores temperaturas resultando em menores custos com energia e manutenção das características nutricionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: ARGOS/FNP, 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Compendium of methods of the microbiological examination of foods**. Washington D. C., 4^o. ed., 676p., 2001.

BARROS, S. T. D.; ANDRADE, C. M. G.; MENDES, E. S.; PERES, L. Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration. **Journal of Membrane Science**, v. 215, n. 1-2, p. 213-224, 2003.

BENASSI Jr, M. **Avaliação da influência do grau de maturação do fruto cítrico na composição química e sensorial de refrigerantes, refrescos, e energéticos à base de suco de laranja**. 2005. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade De Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

BENASSI JR., M. **Determinação das curvas de maturação das variedades cítricas (*Citrus sinensis* L. Osbeck) Pêra-rio, Natal, Valência e Hamlin**. Campinas, 2001. 137p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

BRASIL. Resolução RDC n^o 12, 2 janeiro de 2001. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, p.17, Seção 1, 2001.

BURDURLU, H. S.; KOCA, N.; KARADENIZ, F. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 2, p. 211-216, 2006.

CARNEIRO, L.; SÁ, I. S.; GOMES, F. S.; MATTA, V. M.; CABRAL, L. M.C. Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangential microfiltration. **Desalination**, v. 148, p. 93-98, 2002.

CARVALHO, L. M. J., BORCHETTA, R., SILVA, E. M. M., CARVALHO, C. W. P., MIRANDA, R. M., SILVA, C. A. B. Effect of enzymatic hydrolysis on particle size reduction in lemon juice (*Citrus limon*, L.), cv. Tahiti. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 4, p. 277-282, 2006.

CARVALHO, L. M. J. de.; CASTRO, I. M. de.; SILVA, C. A. B. da. A study of retention of sugars in the process of clarification of pineapple juice (*Ananas comosus*, L. Merrill) by micro and ultrafiltration. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 447-454, 2008.

CARVALHO, L. M. J.; SILVA, C. A. B da.; ABADIO, F. D. B.; GAVA, J. R. Commercial sterilization of fruit juices by ultrafiltration / microfiltration membranes. **Alimentaria**, n. 333, p. 123-128, 2002.

CARVALHO, L. M. J., SILVA, C. A. B., CABRAL, L. M., ABADIO, F. D. B. Clarification of pineapple juice (*Ananas comosus*, L. Merrill) juice by UF. **Alimentaria**, v. 316, p. 129-132, 2000.

CASSANO, A.; CONIDI, C.; TIMPONE, R.; D'AVELLA, M.; DRIOLI, E. A membrane-based process for the clarification and the concentration of the cactus pear juice. **Journal of Food Engineering**, v.80, p.914-921, 2007

COÊLHO, M. A. L.; ALVES, R. E.; ASSIS, J. S.; FILGUEIRAS, H. A. C.; COSTA, J. T. A. Aparência, compostos fenólicos e enzimas oxidativas em uva 'itália' sob influência do cálcio e do armazenamento refrigerado. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 24 n. 1, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO:CONAB. **Safra de cana-de-açúcar 2009**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3_levantamento_2009_dez2009.pdf > Acesso em: 15 fev. 2010.

CRANDALL, P. G.; CHEN, C. S.; CARTER, R. D. Models for predicting viscosity of orange juice concentrate. **Food Technology**, v. 5, n. 36, p. 245-252, 1982.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, v. 2., 752 p., 1977.

DJILAS, S. M.; MILIC, B. L. J. Naturally Occurring Phenolic Compounds as Inhibitors of Free Radical Formation in the Maillard Reaction. In: LABUZA, T. P.; REINECCIUS, G. A.; MONNIER, V. M.; O'BRIEN, J.; BAYNES, J. W. (Eds.). **Maillard Reaction in Chemistry, Food and Health**. Cambridge : The Royal Society of Chemistry, p.75-80, 1994.

DRIOLI, E., ROMANO, M. Progress and new perspectives on integrated membrane operations for sustainable industrial growth. **Industrial Engineering and Chemistry Research**, v.40, p.1277-1300, 2001.

DUTCOSKI, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. Curitiba: Champagnat, 123 p., 1996.

DUNCAN, C. L.; COLMER, A. R. Coliforms associated with sugarcane plants and juices. **Applied Microbiology**, v. 12, n. 2, p. 173-177, 1964.

FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. 9ª edição, São Paulo: ATHENEU, 2001.

GARRUTI, D. S. **Contribuição ao estudo da estabilização física do suco de maracujá integral (*Passiflora edulis f. flavicarpa*)**. 1989, 198 p., Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

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, p.91-157, 2000.

GÜELL, C., DAVIS, R. H. Membrane fouling during microfiltration of protein mixtures. **Journal of Membrane Science**, v. 119, n. 2, p. 269-284. 1996.

GUERRA, E.; JONSSON, G.; RASMUSSEN, A.; NIELSEN, E. W.; EDELSTEN, D. Low cross-flow velocity microfiltration of skim milk for removal of bacterial spores. **International Dairy Science**, v. 7, p. 879-861, 1997.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; MACIEL, G. M.; VIDAL, J. R. M .B., BRANCO, I. G.; MASSON, M.L. Rheological properties of butia pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 2, n. 2, p. 1-12, 2006.

HONER, C. "Pasteurization" by membrane technology. **Dairy Field**, v.174, n.17, p.28, 1991.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 4°. ed. São Paulo: IAL, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Estudo nacional da despesa familiar: tabela de composição de alimentos**. 5° edição. Rio de Janeiro: VARELA, 137 p.1999.

KITOKO, P. M.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, M. L.; LOURENÇÃO, M.; AGUIAR, E.F. Avaliação microbiológica do caldo de cana comercializado em Vitória, Espírito Santo, Brasil. **Higiene Alimentar**. v. 18, n. 119, p. 73-77, 2004.

LEITÃO, M. F. F.; MONTEIRO FILHO, E.; DELAZARI, I.; ANGELUCCI, E. Eficiência de sanitizantes na redução da contaminação bacteriana da alface. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 2, p. 201-226, 1981.

LEWIS, M.; HEPPELL, N. Packaging systems. In: LEWIS, M.; HEPPELL, N. **Continuous Thermal Processing of Foods**. Maryland: Aspen Publishers, cap.7.6, p.294-295, 2000.

LÓPEZ, F.; PESCADOR, P.; GUELL, C.; MORALES, M. L.; GARCIA-PARRILA, M. C.; TRONCOSO, A. M. Industrial vinager clarification by cross-flow microfiltration: effect on colour and polyphenol content. **Journal of Food Engineering**, v. 68, p. 133-136, 2005.

MATTA, V. M; CABRAL, L. M. C; MORETTI, R. M. Clarification of acerola juice by enzymatic treatment and microfiltration. **Alimentaria**, n. 309, p. 127-130, 2000.

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, p. 477-482, 2004.

MEDINA, J. C.; GARCIA, J. L. M.; LARA, J. C.; TOCCHINI, R. P.; HASHIZUME, T.; MORETTI, V. A.; CANTO, W. L. **Maracujá: da cultura ao processamento e comercialização**. Campinas: ITAL/Governo do Estado de São Paulo, 207 p. (Manual Técnico - Série Frutas Tropicais, n.9), 1980.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 3^a ed. Flórida: CRC PRESS, 387 p.,1999.

MELO, M. A. F.; SANTOS, G. R.; MARQUES, K; SANTOS, H. R; RANTHUM. M. Avaliação microbiológica de caldos de cana comercializados na cidade de Ponta Grossa, PR. In: **V Semana de Tecnologia em Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR**, v.02, n.1, 2007.

NINDO, C. I.; TANG, J.; POWERS, J. R.; SINGH, P. Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications. **Journal of Food Engineering**, v. 69, p.3 43-350, 2005.

OLIVEIRA, A. C. G. de; NOGUEIRA, F. A. G.; ZANÃO, C. F. P; SOUZA, C. W. O.; SPOTO, M. H. F. Análise das Condições do Comércio de Caldo de Cana em Vias Públicas de Municípios Paulistas. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 13, n. 2, p. 06-18, 2006.

OLIVEIRA, A. C. G. de; SPOTO, M. H. F, CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SOUSA, C. P. de; GALLO, C. R. Efeitos do processamento térmico e da radiação gama na conservação de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.4, p.863-873, 2007.

ONGARATTO, R. S.; VIOTTO, L. A. Clarification of Brazilian cherry (*Eugenia uniflora L.*) juice and carotenoids concentration by microfiltration and ultrafiltration. Brazilian. Journal of. Food Technology. In: **VII Brazilian Meeting on Chemistry of Food and Beverages**, 2009.

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

PELEGRINE, D. H.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). Campinas, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 20, n. 1, 2000.

POLYDERA, A. C.; STOFOROS, N. G.; TAOUKIS, P. S. Quality degradation kinetics of pasteurised and high pressure processed fresh Navel orange juice: Nutritional parameters and shelf life. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2005.

PRATI, P. **Desenvolvimento de processo para estabilização de caldo de cana adicionado de sucos de frutas ácidos**. Campinas, 2004. 169p. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

PRATI, P.; MORETTI, R. H.; CARDELLO, H. M. A. B. Elaboração de bebida composta por mistura de garapa parcialmente clarificada e sucos de frutas ácidas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 147-152, 2005.

QUEIROZ, A. J. M.; VIDAL, J. R. M.; GASPARETTO, C. A. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas: Influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi naturais e despectinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, 2000.

SABOYA, L. V.; MAUBOIS, J. L. Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. **Lait**, v. 80, p. 541-553, 2000.

SENAI/SEBRAE. **Elementos de apoio para o sistema APPCC**. Brasília, 371p., 1999.

SHARMA, S. K., MULVANEY, S. J., RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering :theory and laboratory experiments**. United States of America: WILEY-INTERSCIENCE, 348p., 2000.

SINGH, N. I.; EIPESON, W. E. Rheological behavior of clarified mango juice concentrates. **Journal of Texture Studies**, v. 31, p. 287-295, 2007.

SOUTO, R. F.; DURIGAN, J. F.; SOUZA, B. S. S.; DONADON, J.; MENEGUCCI, J. L. P. Conservação pós-colheita de abacaxi 'Pérola' colhido no estádio de maturação "pintado" associando-se refrigeração e atmosfera modificada. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 26, n. 1, 2004.

STATISTICA (Data Analysis System) Version 7.0. StatSoft Inc.,Tulsa, OK, 2001.

STUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização**. v. 2. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

SUZART, C. A. G. **Desenvolvimento de tecnologia para estabilização física, sensorial e microbiológica de caldo de cana**. 2009. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. (UNICAMP).

TANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M. A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. **Journal of Food Science**, v. 52, p. 141-145, 1987.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBETTA, P. A. **Análise sensorial de alimentos**. Florianópolis: UFSC, 1987.

THÉ, P. M. P.; CARVALHO, V. D.; ABREU, C. M. P.; NUNES, R. P.; PINTO, N. A. V. D. Efeito da temperatura de armazenamento e do estádio de maturação sobre a composição química do abacaxi cv. *Smooth cayenne* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 356-363, 2001.

THOMAZINI, M.; FRANCO, M. R. B. Metodologia para análise dos constituintes voláteis do sabor. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 34, p. 52-59, 2000.

TROUVÉ, E.; MAUBOIS, J. L.; PIOF, M. M. N; FAUQUANT, J.; ROUAULT, A.; TABARD, J.; BRINKMAN, G. Retention de différentes espèces microbiennes lors de l'épuration du lait par microfiltration en flux tangentiel. **Lait**, v. 71, p. 1-13, 1991.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/nepa/taco>>. Acesso em: 05 ago. 2009.

USHIKUBO, F. Y.; WATANABE, A. P.; VIOTTO, L. A. Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice. **Journal of Membrane Science**, v. 288, p.61-66, 2007.

VAN DEN BROECK, I.; LUDIKHUYZE, L.; WEEMAES, C.; VAN LOEY, A. Kinetics for isobaric-isothermal degradation of L-ascorbic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 5, p.2 001-2006, 1998.

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

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

WILLARD, T. Tecnologia de processamento para proteção alimentar. In: **Perspectivas Econômicas** - Revista Eletrônica do Departamento de Estado dos EUA, v.7, n.2, 2002.

YON, R. M.; JAAFAR, M. Y. Effect of low temperatures on storage life and quality of carambola (*Averrhoa carambola* L.) cv. B 17. **Aciair Proceedings**, v. 50, n.1, p. 396- 401, 1994.

ANEXO

**Ficha para avaliação sensorial do teste de aceitabilidade global
através de escala hedônica de nove pontos**

Análise Sensorial de Caldo de cana Adicionado de Polpa de Maracujá
- Recrutamento de Consumidores -

Nome: _____ **Data:** ___/___/___ **Sexo** ()M ()F
Escolaridade: _____
Idade: () < 18 () 18-25 () 25-35 () 35-45 () Acima de 45

Caso você concorde em participar do teste com caldo de cana adicionado de polpa de maracujá e não tenha alergia e/ou outros problemas relacionados à ingestão deste produto, por favor, assine esta ficha.

ASSINATURA:

Instruções para o teste: Você está recebendo uma amostra codificada contendo caldo de cana adicionado de polpa de maracujá. Por favos observe, sinta o aroma e prove cuidadosamente. Coloque a nota para cada atributo e opine sua intenção de consumo em relação às amostras de acordo com as escalas ao lado.

OBS: A impressão global corresponde ao quanto você gostou ou desgostou da amostra de um modo geral.

Obrigada por sua colaboração!

Características Sensoriais	Amostra 1
Aparência	
Cor	
Odor	
Sabor	
Impressão global	
Intenção de consumo	

Escala

1. Desgostei muitíssimo
2. Desgostei muito
3. Desgostei moderadamente
4. Desgostei ligeiramente
5. Nem gostei, nem desgostei
6. Gostei ligeiramente
7. Gostei moderadamente
8. Gostei muito
9. Gostei muitíssimo

Intenção de consumo

- 5 Certamente compraria
- 4 Provavelmete compraria
- 3 Talvez compraria/ talvez não compraria
- 2 provavelmente não compraria
- 1 certamente não compraria