

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO

**Polpa de Cajá (*Spondias mombin* L.) Processada por Alta
Pressão Hidrostática**

Júlia Hauck Tiburski

2009



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

**POLPA DE CAJÁ (*Spondias mombin* L.) PROCESSADA POR ALTA
PRESSÃO HIDROSTÁTICA**

JÚLIA HAUCK TIBURSKI

Sob a Orientação de
Amauri Rosenthal

e Co-orientação de
Rosires Deliza

Dissertação submetida como
requisito parcial para
obtenção do grau de **Mestre
em Ciência e Tecnologia de
Alimentos**

Seropédica, RJ
Março, 2009.

664.80444

T552p

T

Tiburski, Júlia Hauck, 1982-
Polpa de Cajá (*Spondias mombin*
L.) processada por alta pressão
hidrostática, Rio de Janeiro. /
Júlia Hauck Tiburski
- 2009.

110 f.: il.

Orientador: Amauri Rosenthal.
Dissertação (mestrado) -
Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro, Programa de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia
de Alimentos.

Bibliografia: f. 92-110

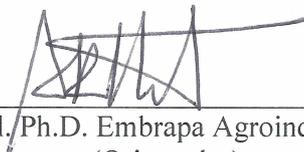
1. Umbu-Caja - Processamento -
Teses. 2. Imbu-Caja- Aspectos
nutricionais - Teses. 3. Polpa de
frutas - Indústria - Teses. 4.
Pressão hidrostática - Teses. I.
Rosenthal, Amauri, 1960-. II.
Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro. Programa de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia
de Alimentos. III. Título.

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

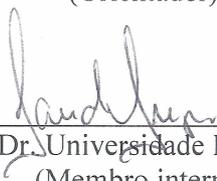
JÚLIA HAUCK TIBURSKI

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 23 (vinte e três) de março de 2009.



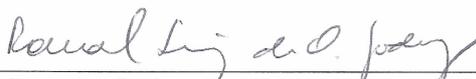
Amauri Rosenthal, Ph.D. Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Orientador)



Sandra Regina Gregório, Dr. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
(Membro interno)



Renata Torrezan, Dr. Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Membro externo)



Ronoel L. de Oliveira Godoy, Dr. Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Membro interno)



Daniela de Grandi Castro Freitas, Dr. Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Membro externo)

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, pela oportunidade e cessão de suas instalações para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Aos meus orientadores, Amauri e Rosires, por toda a confiança que depositaram em mim, pela paciência e dedicação que mostraram durante o decorrer desses dois anos. Além de orientadores vocês foram amigos, pais e exemplo de profissionais. À vocês todo meu carinho e admiração.

À banca examinadora, Sandra Gregório, Ronoel Godoy, Daniela Freitas e Renata Torrezan pelas sugestões e considerações.

Aos meus dedicados provadores: Alda Letícia, Daniela, Fernanda, Filé, Geisa, Isabelle, Janine, Luana, Monica, Monique, Ronoel e Sidney. Muito obrigada vocês foram parte fundamental deste estudo.

À melhor estagiária que já conheci, Luana Tashima, pela realização das análises de microbiologia, processamentos, enfim, por toda a cooperação, amizade e por ser essa pessoa fantástica.

À equipe do Laboratório de Sensorial, Aline, Zé Carlos e Daniela e a todos os estagiários que passaram por ali, em especial, Alessandra, Ana Paula, Marcela e Luciana.

Aos funcionários da Planta, Filé, William e Cláudio por toda a ajuda durante os processamentos.

À equipe do Laboratório de Cromatografia, Ronoel, Sidney, Rafael, Suellen e Pedro pelo auxílio na realização das análises de Carotenóides.

Aos funcionários do Laboratório de Microbiologia de Alimentos da Embrapa Agroindústria de Alimentos – Simone, Flávia, Janine, pelo apoio técnico para a realização das análises.

Ao meu marido e amado Luís Henrique, que esteve ao meu lado durante esses dois anos, sempre me apoiando, me incentivando e acreditando em mim. Obrigada por todo teu amor, paciência e por toda a ajuda e suporte que me deste. À ti todo meu amor e meus sinceros agradecimentos!

À minha mãe, Adela e minha avó, Vilma, pelo apoio e incentivo incondicional e por terem me tornado a pessoa que sou. Tudo que sou hoje devo a vocês! Meu muito obrigado, com muita saudade e orgulho por ter vocês na minha vida.

Aos meus tios Erica e Miguel e minhas primas, Sofia e Helena, pelo carinho e apoio.

Aos grandes amigos que fiz durante esse período, Fernanda, Monique, Alda Letícia, Luana, Flávia, Isabelle e Eliana, que tornaram esse período muito mais divertido, agradável e com quem aprendi muito. Espero tê-los na minha vida por muito tempo.

A todos que contribuíram de alguma maneira para realização deste trabalho.

TIBURSKI, JÚLIA HAUCK. **Polpa de Cajá (*Spondias mombin* L.) Processada por Alta Pressão Hidrostática**. 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ. 2009.

O processamento por Alta Pressão Hidrostática (APH) é capaz de inativar microrganismos e enzimas responsáveis por deterioração de alimentos, submetendo-se o produto a pressões da ordem de 100 a 1000 MPa. Uma das vantagens dessa tecnologia decorre do fato de não utilizar calor preservando, dessa forma, atributos sensoriais e nutricionais, produzindo alimentos com alta qualidade. Este estudo teve como objetivo investigar o processo de alta pressão na conservação de polpa de Cajá (*Spondias mombin* L.) de modo a avaliar sua segurança microbiológica e sua qualidade sensorial e nutricional. O trabalho foi realizado na Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, RJ, Brasil). A polpa de cajá foi processada por alta pressão hidrostática utilizando diferentes níveis de pressão e tempo de retenção, seguindo um delineamento do tipo composto central. Foram realizadas análises microbiológicas (para *Salmonella* spp., coliformes a 45°C, fungos filamentosos e leveduras), físico-químicas (pH, acidez, sólidos solúveis), de inativação enzimática, carotenóides, atividade antioxidante, teor de fenólicos totais, perfil de aroma e cor instrumental. Foi determinada a vida útil do néctar obtido a partir da polpa pressurizada em duas condições de tempo e pressão. As características sensoriais dos néctares obtidos foram avaliadas através de Análise Descritiva Qualitativa (ADQ) e aceitação do consumidor com relação ao néctar obtido a partir da polpa pressurizada, da polpa não pressurizada (controle) e de marcas comerciais disponíveis no mercado. Os dados foram analisados através da Análise de Variância (ANOVA), testes de médias de Tukey, Análise de Componentes Principais (ACP), Mapa Interno da Preferência, Análise de Segmentos, bem como pelo Mapa Externo da Preferência utilizando o programa estatístico Statistica e XLSAT. O processamento da polpa por alta pressão foi eficaz na inativação da contaminação inicial da polpa e na preservação do néctar refrigerado por até 28 dias. Não houve efeito negativo significativo no teor de fenólicos e na atividade antioxidante. A enzima peroxidase não foi completamente inativada em nenhum dos tratamentos realizados. Não houve diferença significativa na cor, no pH e na acidez entre os tratamentos e em relação à amostra controle. Os resultados obtidos na determinação de concentração de polpa e doçura “ideais” para a formulação do néctar de cajá foram 33% e 10,5%, respectivamente. A ADQ revelou similaridade entre as características sensoriais do néctar de cajá pressurizado e o néctar obtido da polpa controle. No Teste de Aceitação, as amostras pressurizada e controle obtiveram as maiores notas. A análise de segmentos dos dados da aceitação revelou três grupos distintos de consumidores.

Palavras-chave: Alta Pressão Hidrostática, Análise Sensorial, Cajá, componentes nutricionais.

TIBURSKI, JÚLIA HAUCK. **Processed Yellow Mombin (*Spondias mombin* L.) pulp using high hydrostatic pressure**. 2009. 110 p. Dissertation (MSc in Food Science and Technology). Instituto de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ. 2009.

High pressure processing (HPP) can generally inactivate microorganisms and enzymes responsible for food deterioration. The food material is submitted to elevated pressures (from 100 MPa up to 1000 MPa). One of the key advantages of this technology is that it enables food processing at ambient temperature, maintaining the quality of fresh foods, with minimal effects on its flavour and nutritional value. The aim of this study was to evaluate the effects of HPP on yellow mombin pulp (*Spondias mombin* L.) preservation in order to assure its microbiological safety and its sensory and nutritional quality. The study was conducted at Embrapa Food Technology (Rio de Janeiro, RJ, Brazil). The yellow mombin pulp was processed by HPP using different levels of pressure and retention time, according to a central composite design. Microbiological analyses (*Salmonella* spp., Coliforms at 35 and 45°C, Moulds and Yeasts) were carried out, as well as physical-chemical analyses (pH, titrable acidity, soluble solids), peroxidase activity, carotenoids, antioxidant activity, total phenolics, volatile compounds profile and instrumental color. The shelf life of the nectar formulated from the pressurized pulp was also assessed. The sensory characteristics of the referred nectar and from the *in natura* pulp (control), as well as commercial yellow mombin pulps were evaluated using Quantitative Descriptive Analysis (QDA). The same samples were evaluated regarding consumer acceptance. Data were analyzed through Analysis of Variance, Principal Component Analysis (PCA), Internal Preference Mapping, Cluster Analysis, and External Preference Mapping, using Statistica and XLSTAT software. HPP effectively inactivated the initial contamination and preserved the refrigerated nectar for 28 days. There was no negative effect on the total phenolic content and antioxidant activity. Peroxidase was not fully inactivated on none of the treatments. HPP showed no significant effect on the colour, pH and titrable acidity. Regarding the aroma profile, there was no major change in the relative concentrations of the various compounds compared to the control sample. The ideal levels of pulp concentration and sweetness determined by the consumers was 33% and 10.4%, respectively. QDA revealed a sensory similarity between the nectar formulated from pressurized pulp and control pulp. The pressurized sample and the control one were preferred by participants on the Acceptance Test. Cluster Analysis revealed three distinct segments of consumers.

Key-words: high hydrostatic pressure; yellow mombin; quality; sensory evaluation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação de produtos comerciais processados por APH.....	19
Tabela 2. Resultados importantes na área de aplicação de APH em frutas.....	23
Tabela 3. Classificação dos compostos fenólicos.....	28
Tabela 4. Variáveis de Processo	41
Tabela 5. Delineamento experimental	42
Tabela 6. Amostras avaliadas na ADQ.....	50
Tabela 7. Composição centesimal e caracterização físico-química da polpa de cajá.....	52
Tabela 8. Composição em minerais da polpa de cajá <i>in natura</i>	53
Tabela 9. Características físico-químicas das amostras de polpa de cajá submetidas à APH em comparação ao controle (<i>in natura</i>).....	55
Tabela 10. Contagem de coliformes a 35°C e 45°C, fungos filamentosos e leveduras e <i>Salmonella spp.</i> em polpa de cajá processada por alta pressão hidrostática.	56
Tabela 11. Atividade residual de peroxidase em polpa de cajá resultante do processamento a alta pressão hidrostática.....	59
Tabela 12. Comparação entre as médias dos teores de fenólicos.	62
Tabela 13. Atividade antioxidante da polpa de cajá controle e das amostras processadas por APH	64
Tabela 14. Teor de carotenóides na polpa de cajá processada por alta pressão hidrostática...	67
Tabela 15. Compostos voláteis identificados na polpa de cajá controle e processada por alta pressão e suas respectivas áreas relativas.	70
Tabela 16. Parâmetros de cor avaliados nas amostras pressurizadas	74
Tabela 17. Critérios usados para a seleção das condições do estudo de vida útil	74
Tabela 18. Atributos sensoriais do néctar de cajá: definições e respectivas referências.....	79
Tabela 19. Média dos atributos sensoriais para as amostras de néctar de cajá.....	80
Tabela 20. Matriz de correlação** para os atributos do néctar de cajá.....	81
Tabela 21. Médias* da aceitação atribuídas às mostras de néctar de cajá pelos consumidores.	83
Tabela 22. Médias** da aceitação atribuídas às mostras de néctar de cajá pelos diferentes segmentos de consumidores.	86
Tabela 23. Características sócio-demográficas dos consumidores.....	87
Tabela 24. Correlação* entre os atributos sensoriais e a média de aceitação das amostras	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árvore e inflorescência da cajazeira (LORENZI, 1998)	16
Figura 2. O fruto da cajazeira (STRI, 2008).....	16
Figura 3. Número de plantas de processamento de alta pressão (MATHYS, 2008).....	18
Figura 4. Percentual dos tipos de produtos pressurizados (MATHYS, 2008).	19
Figura 5. Sistema direto (A) e sistema indireto (B) (ARDIA, 2004).	20
Figura 6. Diagrama pressão <i>versus</i> temperatura da água, decorrente do calor adiabático (ARDIA, 2004).....	21
Figura 7. Fluxograma de processamento do cajá	40
Figura 8. Equipamento de Alta Pressão Hidrostática Stansted Fluid Power.....	43
Figura 9. Fluxograma de processamento por APH da polpa de cajá	44
Figura 10. Diagrama de Pareto para os efeitos da pressão e tempo na contagem de fungos filamentosos e leveduras em polpa de cajá processada por alta pressão	56
Figura 11. Superfície de reposta e gráfico de contorno referentes ao efeito de pressão e tempo de pressurização na contagem de fungos e leveduras em polpa de cajá.....	57
Figura 12. Variação da atividade de POD em polpa de cajá <i>in natura</i> com pH	58
Figura 13. Diagrama de Pareto correspondente à análise de superfície de resposta de atividade de peroxidase de polpa de cajá processada por alta pressão	60
Figura 14. Influência da pressão e do tempo na atividade da peroxidase (POD) de polpa de cajá processada por alta pressão hidrostática	61
Figura 15. Variação do teor de fenólicos em polpa de cajá processada por APH, em relação ao tempo e a pressão de processo	63
Figura 16. Diagrama de Pareto correspondente ao ajuste da variável de resposta atividade antioxidante em polpa de cajá em função do tempo e nível de pressão hidrostática	65
Figura 17. Superfície de Resposta e gráfico de contorno a variável atividade antioxidante em polpa de cajá, em função da pressão e tempo de pressurização	65
Figura 19. Variação (%) do teor de carotenóides em polpa de cajá decorrente dos tratamentos de alta pressão em relação a amostra controle não processada	68
Figura 20. Superfícies de contorno representando o efeito da pressão e do tempo de pressurização em polpa de cajá sobre a) carotenóides totais, b) luteína, c) zeinoxantina, d) β -criptoxantina, e) α -caroteno e f) β -caroteno.	69
Figura 21. Principais componentes voláteis da polpa de cajá obtidos por microextração em fase sólida	73
Figura 22. Contagem de Psicrófilos em néctar de cajá preparado a partir de polpa sem tratamento e tratada por APH, armazenado a 4°C.....	75
Figura 23. Contagem fungos filamentosos e leveduras em néctar de cajá preparado a partir de polpa sem tratamento e tratada por APH, armazenado a 4°C.	76
Figura 24. Determinação da diluição ideal de polpa para a formulação de néctar de cajá.	77
Figura 25. Determinação da doçura ideal para a formulação no néctar de cajá.....	77
Figura 26: ACP das amostras de néctar de cajá, posição dos atributos sensoriais.....	82
Figura 27. ACP das amostras de néctar de cajá, posição das amostras.....	82

Figura 28. Dendrograma dos consumidores (n=112).....	85
Figura 29. Mapa Interno da Preferência mostrando: (a) posição das amostras e (b) posição dos consumidores e dos três segmentos formados no espaço gráfico definido pelas duas primeiras dimensões.	85
Figura 30. Mapa Externo da Preferência: amostras e segmento de consumidores.	88
Figura 31. Mapa Externo da Preferência: atributos sensoriais definidos na ADQ.....	88
Figura 32: Mapa Externo de Preferência sobreposto a superfície de contorno gerada por modelos ajustados aos dados de aceitação	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Cajá	15
2.2	Alta Pressão Hidrostática	17
2.2.1	Aplicação de alta pressão em produtos de fruta	22
2.2.2	Efeito da alta pressão sobre microrganismos	24
2.2.3	Efeito da Alta pressão sobre a atividade antioxidante.....	26
2.2.4	Compostos fenólicos e o efeito da alta pressão	27
2.2.5	Efeito da alta pressão sobre enzimas	29
2.2.6	Carotenóides e o efeito da alta pressão	31
2.2.7	Efeito da alta pressão sobre a cor	33
2.2.8	Efeito da alta pressão sobre compostos voláteis	34
2.3	Análise Sensorial.....	34
2.3.1	Análise Descritiva Quantitativa (ADQ)	35
2.3.2	Teste de aceitação.....	36
2.3.3	Mapa de preferência	37
3	MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1	Material	40
3.1.1	Polpa de cajá (<i>Spondias mombin</i>)	40
3.2	Métodos.....	40
3.2.1	Determinação da Composição Centesimal e Teor de Minerais	40
3.2.2	Planejamento Experimental.....	41
3.2.3	Processamento a alta pressão	42
3.2.4	Processamento térmico.....	44
3.2.5	Determinações Físico-Químicas.....	45
3.2.6	Análises microbiológicas	45
3.2.7	Atividade de peroxidase	46
3.2.8	Atividade antioxidante	47
3.2.9	Quantificação de fenólicos totais	47
3.2.10	Quantificação de carotenóides.....	48
3.2.11	Perfil de compostos voláteis.....	48
3.2.12	Análise de cor.....	48
3.2.13	Análise Sensorial	49
3.2.14	Avaliação da estabilidade do néctar de cajá.....	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	Caracterização da polpa de cajá	52
4.2	Efeito da Alta Pressão Hidrostática (APH) sobre qualidade e segurança da polpa de cajá	54
4.2.1	Efeito da APH sobre as características físico-químicas da polpa de cajá	54
4.2.2	Caracterização microbiológica da polpa de cajá processada por APH	55
4.2.3	Efeito da APH sobre atividade de peroxidase (POD) de polpa de cajá	58
4.2.4	Efeito da APH sobre o teor de fenólicos totais	61
4.2.5	Efeito da APH sobre a atividade antioxidante.....	64
4.2.6	Efeito da APH no teor de carotenóides	66
4.2.7	Efeito da APH nos compostos voláteis	70
4.2.8	Análise de cor.....	73

4.2.9	Efeito da APH na estabilidade do néctar de cajá armazenado refrigerado	74
4.3	Análise Sensorial.....	77
4.3.1	Determinação da Diluição Ideal e Doçura Ideal	77
4.3.2	Análise Descritiva Quantitativa (ADQ)	78
4.3.3	Teste de Aceitação.....	83
4.3.4	Mapa Externo da Preferência (MEP)	87
5	CONCLUSÃO	91
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

1 INTRODUÇÃO

Os processos convencionais de conservação dos alimentos, principalmente os que envolvem a utilização tecnológica do calor, sob qualquer forma, apresentam empecilhos intrínsecos que dificultam o desenvolvimento de novos produtos, tão desejados e necessários para um setor industrial que se amplia e aprimora sob constante e acirrada competição. A substituição destas formas tradicionais de processamento por métodos menos drásticos e agressivos, que possibilitem a obtenção de produtos de melhor qualidade e aparência para o público consumidor, vem merecendo grande destaque nos estudos técnico-científicos nas últimas décadas. Os processos térmicos podem ocasionar alterações indesejáveis, notadamente relativas aos aspectos nutricionais e sensoriais. Dentre algumas das alterações nutricionais indesejáveis, incluem-se a destruição de vitaminas termolábeis e a diminuição do valor nutricional de proteínas. No que diz respeito aos aspectos sensoriais, as alterações indesejáveis que podem ser ocasionadas pelo processamento térmico incluem a destruição de pigmentos termolábeis e o desenvolvimento de sabor indesejável (amargo, queimado, cozido, etc.). Desta forma, processos alternativos vêm sendo investigados, como possíveis tecnologias promissoras a serem empregadas em larga escala industrial e, entre esses, encontra-se a aplicação de alta pressão.

O emprego da tecnologia de processamento por alta pressão vem sendo igualmente estudado visando a substituição ou complementação de processos convencionais com fornecimento de calor, de forma a evitar as reações responsáveis pela deterioração de alimentos. Desse modo, o processamento a alta pressão pode ocasionar a destruição ou redução drástica da carga microbiana inicial do alimento e inativar certas enzimas que são diretamente responsáveis pela deterioração, mantendo os atributos nutricionais e sensoriais dos produtos.

O aumento crescente da demanda por produtos com aparência natural, apresentando valor nutricional e características sensoriais ainda mais próximos das matérias-primas originais tem levado a intensificação dos estudos para a busca de tecnologias alternativas que visam a obtenção dos produtos ditos minimamente processados. Dentre esses métodos incluem-se o tratamento por alta pressão hidrostática que, basicamente, consiste em submeter o alimento a pressões entre 500 a 10000 MPa por um certo tempo, variando desde poucos segundos até uma hora.

A pressão é submetida de modo isostático, ou seja, é aplicada instantaneamente e uniformemente, sem que haja variação da mesma no interior do produto ou da embalagem. Os principais efeitos da alta pressão sobre o alimento podem ser: (1) inativação de microrganismos; (2) modificação de biopolímeros, tais como desnaturação de proteínas, formação de géis, ativação ou desativação de enzimas, influência na degradação ou extração de compostos; (3) retenção de qualidade, especialmente com relação ao aroma, sabor e valor nutricional; e (4) alteração das características físicas e funcionais do produto, incluindo mudança na densidade, temperatura de congelamento e fusão, e atributos de textura.

As polpas de frutas são alimentos delicados e sensíveis ao processamento térmico tradicional. Os apelos da diversidade tropical, entre outros fatores, fazem com que o mercado interno e externo esteja em ascensão, estimulando diretamente o agronegócio brasileiro com o crescimento e consolidação de um parque agroindustrial disperso, mas que leva desenvolvimento regional, e que é gerador de empregos e de divisas para o país. Todavia, a aceitação dos produtos derivados, ou que se caracterizam por conter estas matérias-primas, depende da manutenção, na sua integralidade, das suas características naturais. Assim, o processamento de polpas de frutas por alta pressão é um campo especial das ciências agroalimentares que necessita e busca conhecimentos científicos para consolidar o

desenvolvimento tecnológico, visando sua ampla aceitação industrial com a possibilidade de extensão de escala.

O Cajá (*Spondias mombin* L.) é uma fruta de origem tropical de coloração intensa, apreciado por seu gosto doce e ácido característico. Possui ampla adaptação ao clima quente e úmido das regiões Norte e litorânea do Nordeste, o que motiva o surgimento de uma agroindústria associada à sua produção e processamento. Suas particularidades sensoriais resultam em ampla aceitação, e fazem com que seja cada vez mais consumido nas demais regiões do país, com possibilidades de ampliar ainda mais este mercado quando se vislumbra as oportunidades de exportação.

O perfil das exportações brasileiras de frutos apresenta uma tendência crescente de exportação, inclusive do produto processado. Um grande potencial tem-se apresentado para as polpas, sucos e néctares. Nas últimas décadas, o comércio internacional desses produtos vem apresentando crescimento acelerado, tendo sido, por exemplo, no caso de sucos, triplicado a partir de 1980. Assim, este trabalho se justifica pelo empenho em associar a ciência e os avanços tecnológicos básicos sobre o processamento de alimentos por alta pressão com a possibilidade de ampliar o conhecimento sobre o Cajá e suas características quantitativas e qualitativas, de forma a contribuir com o progresso de um setor da agroindústria genuinamente nacional.

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a aplicação da tecnologia de alta pressão sobre polpa natural de Cajá (*Spondias mombin* L), com vistas à aplicação segura e eficiente de processamento e definir os parâmetros quantitativos e qualitativos do produto processado no que diz respeito à saúde e preferências do consumidor. E como objetivos específicos, o trabalho pretendeu:

1. Avaliar a qualidade microbiológica da polpa de Cajá processada por alta pressão;
2. Estudar as alterações químicas e bioquímicas resultantes do processamento a alta pressão aplicado à polpa de Cajá;
3. Avaliar o efeito dessas possíveis alterações sobre as qualidade sensorial e nutricional do produto processado;
4. Realizar estudo de estabilidade ao longo do armazenamento refrigerado de néctar de Cajá formulado a partir da polpa pressurizada;
5. Realizar estudo de consumidor de néctar de Cajá formulado a partir da polpa processada por tecnologia de alta pressão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cajá

A cajazeira é uma árvore frutífera, que se encontra dispersa nas regiões tropicais da América, África e Ásia. No Brasil, é encontrada principalmente nos estados do Norte e Nordeste, mas também está disseminada em menor escala em quase todos os quadrantes do país (SACRAMENTO & SOUZA, 2000; BOSCO et al., 2000).

Os frutos da cajazeira recebem diferentes denominações, de acordo com a região de origem. Na Amazônia, é vulgarmente conhecido como *Taperebá*; no sudeste do Brasil como *cajá-mirim*, *cajá-pequeno*; e na maioria dos estados do Nordeste, onde ocorre espontaneamente em condições silvestres competindo com outras espécies vegetais, ou em quintais e sítios e, até mesmo, na proteção e sombreamento do cacauzeiro, é simplesmente conhecido por *cajá* (BOSCO et al., 2000). Os nomes cajá e taperebá são corruptelas das palavras *acaja* e *tapiriba*, denominações indígenas para a fruta. *Acaja* significa *fruto de caroço* (de “acâ”, caroço e “ya”, fruta) e *tapiriba*, *fruto de anta* (de “tapir”, anta e “iba”, fruto), em alusão ao fato de que a fruta se constitui em um dos alimentos desse mamífero (LEDERMAN et al., 2008).

O cajá é também chamado de *prunier mombin* na Guiana Francesa; *ciruela de monte* e *jocote* na Guatemala; *ciruela amarilla* no México e Equador; *jobo* na América Central; *hogplum* ou *yellow mombin* na América do Norte (FILGUEIRAS et al., 2000).

O gênero *Spondias*, foi criado por Carolus Linnaeus em 1753, baseado na *S. mombin* L., encontrada em suas expedições pela América Tropical. A cajazeira (*Spondias lutea* L. ou *Spondias mombin* L.) pertence à família *Anacardiaceae* e ao gênero *Spondias*, formado por cerca de 18 espécies distribuídas em áreas tropicais e subtropicais do mundo. No Brasil, este gênero está representado pelos frutos da ceriguela ou siriguela (*Spondias purpurea* L.), cajarana (*Spondias cytherea* Sonn.), cajá-manga (*Spondias dulcis*), umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Câm) e os naturais híbridos umbu-cajá (*Spondias tuberosa* x *Spondias lutea*) e umbuguela (*Spondias tuberosa* x *Spondias purpurea*). Porém, na zona oeste e sudoeste da Amazônia ocorrem também espécies nativas como o cajá de jaboti (*Spondias testudinis*) e o cajá-açu (*Spondias mombin* x *testudinis*) (LEDERMAN et al., 2008; SILVA JUNIOR et al., 2004; SOUZA, 1998; BORA et al., 1991).

Considerada como uma árvore frutífera tropical, a cajazeira situa-se entre as frutíferas perenes, produzindo frutos nutritivos, saborosos e de grande aceitação de mercado. A cajazeira é uma árvore frutífera tropical lenhosa, perenifólia ou secundária (Figura 1). Têm porte alto, atingindo 25 m de altura, folhas compostas pinadas, de 5-9 pares de folíolos opostos e troncos revestidos por casca grossa e rugosa de 40-60 cm de diâmetro, que esgalha e ramifica na parte terminal, o que confere um porte alto à planta. A copa é ampla, vistosa e imponente quando em fase de floração e frutificação (LORENZI, 1998).

A espécie encontra condições favoráveis de sobrevivência nos mais variados ecossistemas brasileiros, notadamente, naqueles existentes no Norte e Nordeste, por apresentarem maior estabilidade de temperatura e umidade relativa do ar. As condições climáticas ideais para o desenvolvimento da espécie são: temperatura média anual entre 25 a 28°C, umidade relativa do ar entre 60 a 80% e precipitação pluviométrica entre 700 e 1600mm, distribuída com certa regularidade nos meses de abril a agosto (BOSCO et al., 2000).



Figura 1. Árvore e inflorescência da cajazeira (LORENZI, 1998)

A cajazeira é uma espécie que sobrevive naturalmente na forma silvestre, cuja exploração é geralmente feita de modo extrativista ou em pequenos pomares domésticos (SACRAMENTO & SOUZA, 2000; BOSCO et al., 2000).

A altura das cajazeiras dificulta a colheita dos frutos na planta, desse modo, os cajás maduros desprendem-se da planta e caem. Na queda, muitos frutos se danificam ao se chocarem com galhos ou mesmo com o solo. Os frutos danificados perdem líquido e entram em processo de fermentação, além de ficarem expostos ao ataque de patógenos, formigas, insetos e roedores. Desse modo, a colheita, mesmo no chão, deve ser feita pelo menos duas vezes ao dia, para preservar a qualidade. Devido a problemas de colheita, condições de acesso e transporte, estima-se que menos de 30% da produção de cajá seja aproveitada atualmente para consumo humano (SACRAMENTO & SOUZA, 2000; BOSCO et al., 2000).

Os frutos da cajazeira são botanicamente caracterizados como drupas de 3 a 6 cm de comprimento, ovóides ou oblongos, achatados na base, com cor variando do amarelo ao alaranjado (Figura 2). A casca é fina, lisa, com polpa pouco espessa também variando do amarelo ao alaranjado, suculenta e de sabor ácido adocicado (BOSCO et al., 2000).

Com sabor exótico e diferenciado, o cajá já é bastante apreciado por aqueles que regionalmente têm acesso ao fruto. É bastante consumido *in natura* e na forma processada, em inúmeros produtos entre os quais, pode-se citar: polpas, sucos, néctares, doces, geléias, sorvetes e gelados, bebidas fermentadas e destiladas (SACRAMENTO e SOUZA, 2000; BOSCO et al., 2000).



Figura 2. O fruto da cajazeira (STRI, 2008)

A época de colheita varia nos diversos estados brasileiros, muito em função do regime pluviométrico peculiar a cada ambiente ou da constituição intrínseca à própria planta (BOSCO et al., 2000). Como exemplo, na região Amazônica, a safra geralmente ocorre de

dezembro a fevereiro, e na região Nordeste, de março a maio (SACRAMENTO e SOUZA, 2000).

A partir da década de 90, o cajá começou a ganhar o mercado interno brasileiro através de sua polpa congelada. A maior parte da produção da fruta está voltada para a produção de polpa, tal fato é justificável, devido a perecibilidade do fruto. O cajá deve ser comercializado, no máximo, 48 horas após a sua colheita (BOSCO et al., 2000).

No Brasil, notadamente no Norte e Nordeste, a espécie tem considerável importância social e econômica, fato comprovado pela crescente comercialização de seus frutos e produtos processados.

Além da importância regional, os frutos da cajazeira vêm ganhando papel de destaque no agronegócio brasileiro, com o desenvolvimento de novos produtos e a comercialização em maior escala de sua polpa (SACRAMENTO e SOUZA, 2000).

Na Instrução Normativa n.º.12, de 10 de setembro de 1999, o Ministério da Agricultura e Abastecimento aprovou os Padrões de Identidade e Qualidade (P.I.Q) para polpas de maracujá, acerola, cacau, cupuaçu, graviola, açaí, caju, manga, goiaba, pitanga, uva, mamão, cajá, melão e mangaba (BRASIL, 1999). Segundo Brasil (1999), os Padrões de Identidade e Qualidade (P.I.Q) para polpas de cajá estipulam valores mínimos de pH (2,2), sólidos solúveis (9°Brix), acidez total (0,9 g/100g) e sólidos totais (9,50g/100g) e o máximo de 12g/100g para açúcares totais, naturais do cajá.

Pereira (2003), realizou o acompanhamento do processamento e armazenamento da polpa e do néctar de cajá em escala industrial e observou alterações de cor e mudanças deteriorativas no aroma original do fruto. Dentre as enzimas presentes, foram testadas as atividades enzimáticas da peroxidase e polifenoloxidase. Os estudos iniciais mostraram que a polpa apresentou alta atividade de peroxidase (58.560U/g) e baixa atividade de polifenoloxidase (92U/g).

2.2 Alta Pressão Hidrostática

Os consumidores avaliam a qualidade dos alimentos baseados nas suas características intrínsecas, como as sensoriais e nutricionais (aparência, aroma, textura, sabor, conteúdo calórico, vitaminas, etc.) e extrínsecas (embalagem, preço, disponibilidade, propaganda, etc.), as quais, juntamente com a sua vida útil, determinam a preferência individual por produtos específicos. Conseqüentemente, a venda de produtos frescos, resfriados e saudáveis está em crescimento (HOGAN et al., 2005). Contudo, essa demanda representa um desafio à indústria de alimentos que precisa implementar técnicas para manter os alimentos frescos por mais tempo, com vida útil e conveniência adequadas e, obviamente, assegurar a segurança alimentar. Devido a essa mudança de tendência na preferência dos consumidores, a indústria tem se esforçado para desenvolver novas tecnologias que forneçam o tratamento necessário através de processos não térmicos (WELTI-CHANES et al., 2005). Entre as tecnologias não-térmicas estudadas a que vem apresentando maior potencial de uso industrial é a alta pressão hidrostática (APH).

O processamento por alta pressão é uma tecnologia que atende potencialmente a muitos, se não todos, os mais recentes desafios enfrentados pela indústria de alimentos, uma vez que possibilita o tratamento de produtos mantendo as qualidades dos alimentos frescos e a conveniência e lucratividade associada à extensão da sua vida útil (NORTON & SUN, 2008).

A alta pressão produz diversos efeitos sobre os contaminantes e componentes dos alimentos, a saber (a) inativação de microrganismos; (b) modificação de biopolímeros incluindo a ativação e inativação enzimática, desnaturação protéica e formação de gel; (c) retenção das características de qualidade (cor, sabor, valor nutricional) e (d) modificação das propriedades físico-químicas da água (INDRAWATI & HENDRICKX, 2002).

O primeiro registro do uso de alta pressão como um método de preservação de alimentos foi em 1899, na Universidade da Virginia do Oeste, nos Estados Unidos, onde experimentos foram conduzidos usando-se alta pressão hidrostática para a conservação de leite, sucos de fruta, carne e uma variedade de frutas. Bert Hite demonstrou que microrganismos poderiam ser destruídos no leite se o mesmo fosse submetido a pressões de 650 MPa. Alguns anos depois, Bridgman (1914) publicou um trabalho sobre a coagulação da albumina do ovo pela aplicação de pressão, observando que as propriedades eram diferentes dos géis obtidos pela coagulação com calor (HENDRIKX & KNORR, 2002).

Altas pressões vêm sendo utilizadas comercialmente há mais de 30 anos na produção de cerâmicas, plásticos, metais, nas indústrias aeronáutica e espacial, nos processos de crescimento de cristais de quartzo e em reatores químicos, porém somente a partir da década de 90 começou a ser utilizada no tratamento de alimentos (HENDRIKX & KNORR, 2002).

A alta pressão hidrostática é uma tecnologia já implementada na indústria em diversos países. Em 1985, 21 empresas financiadas pelo Ministério da Agricultura do Japão, fundaram a Japanese R&D Association for High Isostatic Pressure in The Food Industry, com o objetivo de acelerar a implementação da tecnologia de APH na indústria de alimentos. Em 1990, foi lançado pela empresa Meidi-ya o primeiro produto processado por APH, uma geléia pressurizada. Nos anos seguintes, vários outros produtos foram lançados tais como molhos, sucos de fruta, bolos de arroz e lula crua (ELIZONDO, 1995). Europa e Estados Unidos também lançaram produtos pressurizados nos anos seguintes tais como sucos de fruta, presunto, embutidos, pratos prontos, guacamole, entre outros. O sucesso da tecnologia de alta pressão é demonstrado pelo grande número de novas plantas de processamento implantados nos últimos anos (Figura 3), 91 desde 2000, atingindo em 2007 o número de 110 plantas espalhadas por quatro continentes e processando os mais diversos produtos (MATHYS, 2008; URRUTIA-BENET, 2005).

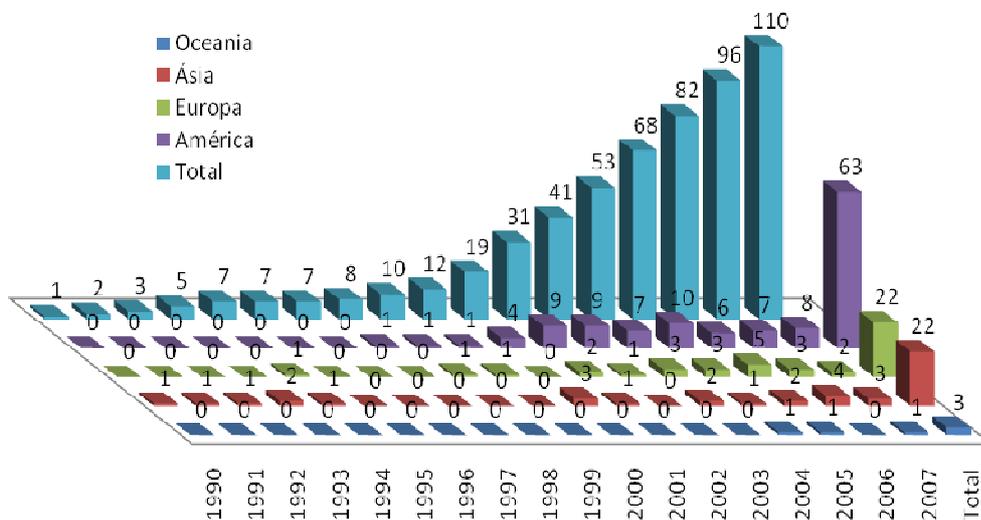


Figura 3. Número de plantas de processamento de alta pressão (MATHYS, 2008)

Os equipamentos possuem diferentes *designs* e capacidades (50 a 300 litros) e diferentes pressões de operação (100 a 650 MPa), mas em todos os casos o princípio é o mesmo: alta pressão hidrostática é capaz de inativar microrganismos em produtos alimentícios (já embalados ou não) sem a necessidade de altas temperaturas. O processamento por alta pressão já é aplicado a uma variedade produtos (Figura 4), tendo alcançado maior expressão na indústria cárnea.



Figura 4. Percentual dos tipos de produtos pressurizados (MATHYS, 2008).

Na Tabela 1 estão apresentados alguns produtos pressurizados que já foram ou ainda são comercializados.

Tabela 1. Relação de produtos comerciais processados por APH

Companhia/País	Ano	Produto	Tratamento
Wakayama Food Industries/Japão		Suco de tangerina	300–400MPa, 2–3 min, 20°C
Orchard House/Reino Unido		Sucos de fruta e smoothies	500MPa
Meiji-ya/Japão	1990	Concentrados de fruta, geléias e gelatinas	400 MPa, 10-20min, 150L/h
Pokka/Japão	1991	Sucos de fruta	200 MPa, 10-15min, 600L/h
Fuji Chiku/Japão	1994	Presunto cru salgado	250 MPa, 20°C, 3h
Pampryl/França	1994	Suco de laranja	400 MPa
Echigo Seika/Japão	1994	Arroz pré-cozido hipoalergênico	400 MPa, 10min, 45-70°C
Ultifruit/França	1995	Suco de laranja	
Avomex/EUA	1997	Guacamole	600 -700 MPa, 2 x 215L
España/Espanha	1998	Presunto fatiado e tapas	400 MPa, 15°C, 10-20min
Oysters Joey /EUA	1999	Ostras	
Jumex/México	2001	Sucos de fruta	500 MPa, 2 x 420L, 3000L/h
Portugal/Frubaca	2001	Suco de maçã	
Campo Frio/Espanha	2002	Presunto de frango cozido e fatiado, salame serrano	600 MPa, 20°C, 3min, 300 L
Hannah International/ EUA	2002	Hummus	
OYSA, Austrália	2002	Ostras	
Vismara/Itália	2004	Presunto “Prosciutto”, salame, mortadela e “pancetta”	600 MPa, 20°C, 300
Itohan/Japão	2004	Carne seca	600 MPa, 20°C, 150 L
Giezzi/Itália	2004	Bacalhau dessalgado	
Ocean choice/Canada	2004	Lagosta	275 MPa, 20°C, 1min, 300 L
Abraham/Alemanha	2005	Presunto defumado	600 MPa, 20°C, 150 L
Campofrio/Espanha	2005	Salmão pronto para servir	600 MPa, 20°C, 3min, 300 L

Fonte: (URRUTIA-BENET, 2005; INDRAWATI & HENDRIKX, 2002).

Um sistema comercial de alta pressão custa entre US\$500.000 e US\$2,5 milhões, dependendo da capacidade e da extensão da automação. Sendo uma nova tecnologia com mercado limitado, os produtos pressurizados podem custar de 6 a 12 centavos de dólar a mais

por quilo do que produtos processados termicamente. Com 2 ou mais vasos de pressão em funcionamento operando em condições normais, pode-se produzir aproximadamente 10 milhões de quilos por ano (BALASUBRAMANIAM & FARKAS, 2008).

Princípios de funcionamento

O processamento por alta pressão consiste na aplicação de pressão entre 50 e 1000 MPa a alimentos líquidos ou sólidos, embalados ou não. Equipamentos industriais de alta pressão podem funcionar tanto em batelada como de maneira contínua. A seleção do equipamento depende do tipo de alimento a ser processado. Alimentos sólidos ou com partículas só podem ser tratados em batelada enquanto que líquidos e produtos bombeáveis podem ser processados de modo semi-contínuo (TING & MARSHALL, 2002). A maioria dos equipamentos para a indústria de alimentos funciona em batelada, de modo que o produto é colocado na câmara de alta pressão, o vaso é fechado, enchido com o fluido transmissor de pressão e pressurizado bombeando-se o meio para dentro do vaso (método indireto) ou reduzindo o volume da câmara de pressão, através do uso de um pistão, por exemplo (método direto) (Figura 5). Fluidos geralmente utilizados como transmissores de pressão incluem água, glicerol, álcool 70%, óleos comestíveis, e água/emulsões de óleos comestíveis. Assim que a pressão desejada é alcançada, a bomba ou pistão para, as válvulas são fechadas e a pressão é mantida sem demanda de energia. Após o tempo de retenção o sistema é despressurizado, o vaso é aberto e o produto é descarregado, então o sistema pode ser recarregado com produtos, por operadores ou máquinas, dependendo do grau de automação da instalação (BALASUBRAMANIAM & FARKAS, 2008; HOGAN et al, 2005; WELTI-CHANES et al., 2005).

Um sistema semicontínuo com capacidade de 600L/hora de alimentos líquidos e uma pressão de operação máxima de 400 MPa é usado comercialmente para a produção de sucos de fruta, no Japão. Várias unidades podem ser arranjadas em seqüência de forma que enquanto uma unidade está sendo carregada, as outras se encontrem em estágios diferentes do processo (PALOU et al., 2002).

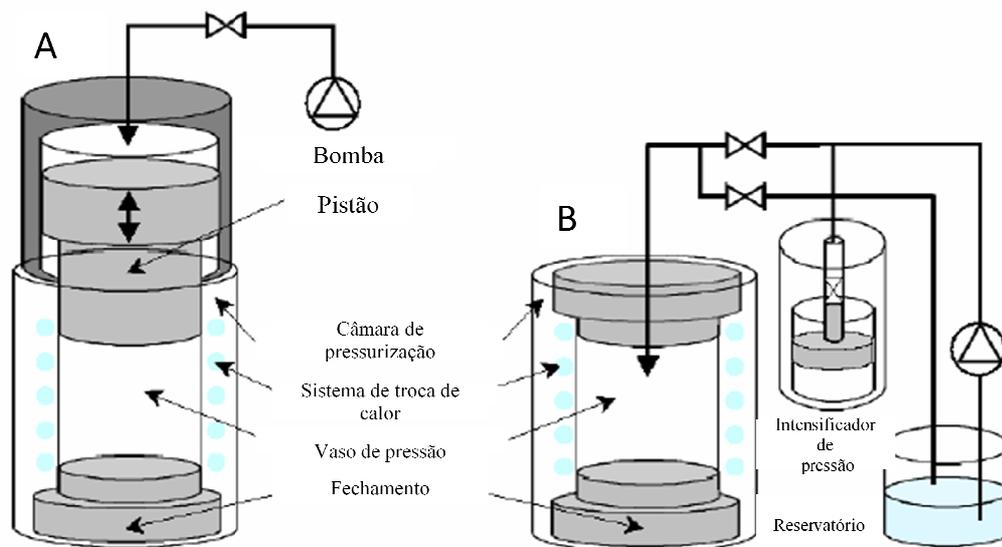


Figura 5. Sistema direto (A) e sistema indireto (B) (ARDIA, 2004).

Dois princípios físicos governam o processamento por alta pressão. O princípio isostático (ou princípio de Pascal): devido à alta velocidade de propagação da pressão (3000 m s^{-1} em água) ela age de maneira praticamente instantânea e uniforme nos alimentos,

independente do tamanho, geometria e composição; e o princípio de Le Chatelier, segundo qual todo fenômeno (transição de fase, mudanças na configuração molecular, reações químicas) relacionado à variação nos níveis de pressão está associado a uma mudança de volume, positiva ou negativa. O aumento de pressão favorece os fenômenos que provocam diminuição do volume, deslocando o equilíbrio na direção do sistema de menor volume (RASTOGI et al., 2006; ASANO & NOBLE, 1978).

A alta pressão hidrostática afeta as ligações não covalentes (pontes de hidrogênio, ligações iônicas e hidrofóbicas) uma vez que algumas dessas ligações são muito sensíveis à pressão. Compostos de baixo peso molecular, tais como os responsáveis pelas características sensoriais e nutricionais dos alimentos, não são afetados pela pressão, enquanto que compostos de alto peso molecular, cuja estrutura terciária é importante para a sua funcionalidade, são sensíveis (WELTI-CHANES et al., 2005).

O trabalho de compressão durante o tratamento leva a um aumento da temperatura do sistema devido ao calor adiabático (Figura 6), e sua extensão está relacionada à taxa de compressão utilizada, à composição do alimento e às propriedades termofísicas do fluido transmissor (ARDIA et al., 2004). Quanto maior a taxa de compressão utilizada maior será o incremento de temperatura, e quanto menor a taxa maior será o efeito de equilíbrio térmico e menor a temperatura final atingida. A temperatura no interior do vaso tende ao equilíbrio devido ao gradiente de temperatura entre o ponto mais quente (centro do produto) e o ponto mais frio (parede do vaso de pressão). Durante o tempo de retenção e na descompressão a temperatura diminui devido ao resfriamento adiabático. O calor não é transmitido de maneira uniforme e instantânea como a pressão, podendo provocar inativação enzimática e de microrganismos não uniforme através do produto. A fim de reduzir esse fenômeno e estabilizar a temperatura durante o tempo de retenção, pode-se usar um vaso insulado e que forme uma barreira ao fluxo de calor simulando um sistema adiabático (OTERO et al., 2007; TOEPFL et al., 2006; ARDIA, 2004).

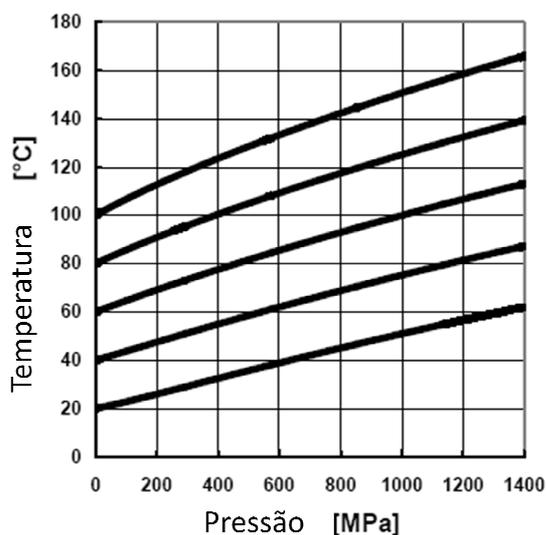


Figura 6. Diagrama pressão *versus* temperatura da água, decorrente do calor adiabático (ARDIA, 2004)

A aplicação de altas pressões provoca um aumento na temperatura do alimento processado de aproximadamente 3 °C a cada 100 MPa. Esse valor foi encontrado tanto para água quanto para suco de fruta e leite. Se o alimento contiver uma grande quantidade de gordura, o incremento da temperatura será maior (8– 9 °C/100 MPa) (ARDIA et al., 2004).

A escolha da embalagem do produto pressurizado deve considerar se o produto será processado na sua embalagem ou se será embalado após o processamento. Sistemas contínuos ou semi-contínuos são usados no caso de produtos bombeáveis que devem ser embalados assepticamente após o tratamento. Embalagens flexíveis ou parcialmente rígidas podem ser usadas no processo em batelada e as suas características físicas e mecânicas têm grande influência na efetividade do tratamento. A embalagem deve ser capaz de suportar as pressões de operação, ter boa capacidade de selagem e evitar a deterioração e contaminação do produto enquanto a pressão é aplicada. Pelo menos uma interface deve ser flexível o suficiente para transmitir adequadamente a pressão, compensar a compressão do ar no seu interior e a redução do volume do alimento (aproximadamente 12% a 400 MPa, ou até 15% em pressões acima de 500 MPa), conseqüentemente vidro, metais e plásticos rígidos não podem ser usados (RASTOGI et al., 2006; CANER et al., 2004; LAMBERT et al., 2000). Sendo o efeito reversível, após o processo ocorre a regeneração do volume na embalagem flexível, ao nível original.

Dobias et al. (2004) examinaram o efeito da pressão de várias embalagens, homogêneas e multi-camadas, em relação às mudanças nas propriedades mecânicas (resistência à tração e força da selagem), transparência, permeabilidade ao vapor, migração de componentes e transferência de água e óleo de oliva para os materiais. Foi utilizada uma pressão de 600 MPa por 60 minutos. A alta pressão diminuiu significativamente a capacidade de selagem dos filmes de monocamada e a migração de componentes da embalagem.

Lambert et al. (2000) estudaram as mudanças em algumas características de embalagens submetidas à alta pressão, tais como resistência à tração, força de selagem, estrutura do filme, delaminação, permeabilidade ao oxigênio e ao vapor e migração de substâncias. As embalagens fabricadas por coextrusão pelo sistema “cast” foram as mais suscetíveis à delaminação, enquanto que as fabricadas por extrusão tubular se mostraram mais robustas em termos de propriedade de barreira, migração e integridade.

2.2.1 Aplicação de alta pressão em produtos de fruta

O processamento por alta pressão hidrostática é usado em frutas com o objetivo de inativar microrganismos e enzimas, aumentar a vida útil e ao mesmo tempo preservar as características sensoriais e nutricionais. Alguns resultados importantes na área de frutas estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados importantes na área de aplicação de APH em produtos de frutas

Condições de processamento	Resultados importantes	Referências
Suco de laranja		
500 MPa, 1,5 minutos	Qualidade microbiológica semelhante aos sucos pasteurizados. Armazenamento por até 16 semanas sob refrigeração com maior retenção de aromas.	PARISH, 1998
500 e 800 MPa , 5 minutos	Armazenamento por 21 dias a 4°C não causou nenhum efeito na capacidade antioxidante, vitamina C, açúcares e carotenóides.	FERNANDEZ-GARCIA et al., 2001a
600 MPa, 4 minutos, 40°C	A taxa de degradação de ácido ascórbico foi menor para o suco pressurizado, levando a uma maior retenção da capacidade antioxidante em comparação ao pasteurizado.	POLYDERA et al, 2004, 2005
600 MPa, 1 minuto, 20°C	A população de bactérias aeróbicas, fungos e leveduras foi reduzida a níveis não detectáveis. Redução de até 7-log na população de Salmonella e redução significativa na atividade de PME. Cor, viscosidade, brix e acidez titulável, ácido ascórbico e β -caroteno não foram afetados pelo armazenamento por 12 semanas a 4 ou 10 °C.	BULL et al., 2004
600 MPa, 5 minutos, 25 ou 80°C	Boa retenção de folatos a 25°C. Tratamento a 80°C não causou grande perda de folatos o que pode ser atribuído a presença de substâncias protetoras intrínsecas no suco de laranja.	BUTZ et al., 2004
Polpa de goiaba		
600 MPa, 25°C, 15 minutos	Armazenamento por até 40 dias a 4 °C sem mudanças na cor e turbidez e sem perda de ácido ascórbico.	YEN & LIN, 1996, 1999
Abacaxi		
(suco) 300 MPa, 5 minutos, 25-35°C	Armazenamento refrigerado por 14 dias. A 35°C, inativação de bolores e leveduras a níveis não detectáveis.	ROSENTHAL et al., 2004
Morango		
(suco) 230-400 MPa	Inativação de 60% da PPO a 250 MPa e 25% da POD a 230 MPa. Ativação foi observada em algumas condições. Inativação ótima da POD foi 230MPa a 43°C.	CANO & HERNANDEZ, 1997
(suco) 200-500 MPa	Não foram observadas mudanças significativas no perfil de aromas. Tratamento com 800 MPa induziu a formação de novos compostos.	LAMBERT et al., 1999
400-600 MPa	Retenção de fenólicos, antocianinas e ácido ascórbico superior a amostra pasteurizada. A cor vermelha foi intensificada pelo tratamento.	PATRAS et al., 2009a
Manga		
300 MPa, 5 minutos, 25°C	Carga inicial de fungos filamentosos e leveduras, presente na polpa de manga, foi reduzida a níveis não detectáveis . Intensa similaridade entre o suco preparado a partir da polpa pressurizada e <i>in natura</i> .	ROSENTHAL et al., 2006a
400 MPa, 5 minutos, 35°C	Aumento de 34% na extração de carotenóides comparado a amostra sem tratamento.	PONTES et al., 2008
Açaí		
300-500MPa, 5 a 15 minutos	Redução de 5 logs na contagem de fungos filamentosos e leveduras e de 4 logs na contagem de mesófilos.	ROSENTHAL et al., 2006b
Maracujá		
300 MPa, 5 minutos, 25°C	Preservação dos compostos de aroma e sabor, grande similaridade sensorial (avaliada por ADQ) entre o suco <i>in natura</i> e o pressurizado	LABOISSIERE et al., 2007

2.2.2 Efeito da alta pressão sobre microrganismos

A membrana celular é a parte da célula que mais é atingida pela alta pressão. Ela provoca mudanças na organização molecular do complexo lipídeo-peptídeo rompendo a estrutura da membrana de dupla camada de ácidos fosfatídicos. Na reorganização da membrana, ocorrem alterações na função de proteínas que controla a permeabilidade de íons e, assim, a membrana perde sua funcionalidade. Ainda há a perda de RNA e proteínas para o meio extracelular devido ao colapso da membrana (PATTERSON, 2005; PRÉSTAMO & ARROYO, 1998).

Como a alta pressão afeta somente as ligações químicas não covalentes, os microrganismos são inativados sem afetar significativamente as moléculas dos componentes do alimento. As reações bioquímicas da célula são afetadas uma vez que muitas enzimas são inativadas sob altas pressões (FELLOWS, 2006; PATTERSON, 2005).

Os ácidos nucléicos são mais resistentes à pressão do que as proteínas, mantendo-se intactos até mesmo a pressões de 1000 MPa. Contudo, as reações enzimáticas envolvidas na replicação e transcrição do DNA são inativadas pela alta pressão (SUN, 2005; CHEFTEL, 1995).

A ação da pressão sobre organismos eucarióticos é mais efetiva que sobre os procarióticos e é também dependente do formato da bactéria, sendo os bastonetes mais sensíveis que os cocos. Na maioria dos casos, o efeito do processamento sobre bactérias Gram positivo é menos evidente que sobre bactérias Gram negativo, devido à espessura da camada de peptídeoglicano serem mais espessas nas primeiras (PATTERSON, 2005; SUN, 2005; ARROYO & PRESTAMO, 1997). Em geral, as formas bacterianas vegetativas são inativadas à temperatura ambiente, quando pressões da ordem de 400 a 600 MPa, ou até menores, são aplicadas (SUN, 2005).

Enquanto fungos, leveduras e células vegetativas são, em geral, sensíveis ao tratamento de AP acima de 100 MPa, certos esporos bacterianos que apresentam além da alta resistência ao calor, à radiação e à homogeneização, também apresentam resistência à pressão (ROSENTHAL & SILVA, 1997). Os esporos podem, em geral, ser destruídos por pressões acima de 1000 MPa (SMELT, 1998) ou entre 500 e 700 MPa se combinada com temperaturas de 90 a 110°C (SUN, 2005).

A inativação dos esporos também pode ser atingida aplicando-se ciclos de alta pressão que alteram a permeabilidade e acabam por danificar a parede celular. Os esporos são inativados mais rapidamente em pHs baixos, porém a germinação induzida pela pressão é mais rápida a pH neutro (SMELT, 1998).

O tratamento com alta pressão pode induzir a germinação dos esporos, sendo possível minimizar esse efeito combinando temperaturas e pHs baixos. Por outro lado, a germinação pode ser um pré-requisito e alternativa para a inativação de bactérias esporuladas, podendo ser induzida por níveis pouco elevados de pressão a facilitando a eliminação posterior das células vegetativas resultantes. Outra alternativa é alternar a aplicação de pressões médias, para induzir a germinação e em seguida aplicar altas pressões, para a inativação, uma ou mais vezes, em ciclos de pressão subsequentes (SUN, 2005).

Do mesmo modo que as células vegetativas bacterianas, fungos e leveduras também são sensíveis à aplicação de alta pressão, sendo inativados por pressões entre 200 e 300 MPa (CHAPMAN, 2007). Em geral, todas as formas vegetativas de fungos são inativadas em poucos minutos pela exposição a 300 MPa, em temperatura de 25 °C. A maioria dos esporos de fungos e leveduras é facilmente inativada a aproximadamente 400 MPa (SMELT, 1998), entretanto, os ascósporos (esporos fúngicos) necessitam de tratamento a pressões maiores, por se apresentarem bastante resistentes, não só ao calor,

mas também à pressão: por exemplo, o tratamento dos esporos de *Byssochlamys*, a 700 MPa, a 70 °C por 15 minutos, não é suficiente para reduzir essa população a 3 ciclos log (HOCKING, 2006).

A capacidade do processo da alta pressão de destruir e/ou inativar microrganismos varia de acordo com o tipo de microrganismo e sua fase de crescimento, a composição do meio, o nível de pressão, o tempo de exposição e a temperatura durante o tratamento (SUN, 2005; CAMPOS et al., 2003; ROSENTHAL, SILVA, 1997).

Bactérias em fase estacionária de crescimento ou em fase letal são mais resistentes que aquelas em fase logarítmica (CHEFTEL, 1995; SMELT, 1998).

O pH dos alimentos representa outro importante fator na determinação do efeito da pressão sobre microrganismos. A dissociação iônica da água (e de vários ácidos fracos) é aumentada quando sob pressão, ocasionando uma diminuição do pH. Essa redução pode promover desnaturação protéica e contribuir para a inativação de microrganismos (CHEFTEL, 1995). O pH ácido aumenta a inativação durante o tratamento e também inibe o crescimento de células danificadas, pois elas são mais sensíveis ao ácido do que as células nativas (SUN, 2005).

A atividade de água (a_w) das células também afeta a resistência dos microrganismos à pressão. Tem-se observado que quanto menor a a_w , maior é a resistência das células. Segundo SMELT (1998), quando as a_w s são baixas, geralmente as células são protegidas da pressão, mas microrganismos em condições subletais devido à alta pressão geralmente são mais sensíveis às baixas a_w s.

Rosenthal et al. (2002) comparando a inativação de leveduras em diferentes sucos de frutas, notaram que esta pode ser influenciada pela composição do produto pressurizado e pelas condições de processamento, confirmando que a redução de atividade de água exerceu um efeito baroprotetor, enquanto que suaves aumentos de temperatura em até 40 °C aumentaram essa inativação.

A presença de macronutrientes como açúcares, proteínas ou gorduras, também influencia a condição de processo a que o alimento deve ser submetido, para eliminar microrganismos patógenos (SAN MARTÍN et al., 2002). Alguns constituintes do alimento, como o açúcar, podem ter um efeito protetor para os microrganismos (SUN, 2005).

A aplicação da alta pressão como um método para inativação microbiana tem despertado considerável interesse na indústria de alimentos, principalmente na conservação de alimentos ácidos ($\text{pH} < 4,6$). É considerada um método confiável e promissor para destruir microrganismos patogênicos, incluindo *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* e *Vibrio vulnificus*. Além desses, é capaz de eliminar grande proporção (> 90%) daqueles causadores de deterioração em alimentos, sem alterar as qualidades de aceitação do produto.

Rosenthal et al. (2002), ao estudarem a inativação de *Zygosaccharomyces bailii*, observaram que um tratamento a 300 MPa, por um curto período de tempo, foi suficiente para reduzir de 4 a 5 ciclos log em sucos de abacaxi, laranja, maçã e tomate.

Raso et al. (1999) promoveram uma inativação de 5 ciclos log de *Z. bailii* em diversos sucos de frutas (laranja, abacaxi, maçã, uva e “cranberry”), porém conseguiram uma redução de apenas 2 logs na população de ascospores no mesmo substrato.

Uma inativação de 4 a 6 ciclos log foi obtida quando esporos de *Bacillus stearothermophilus* foram submetidos a 4 ou 6 tratamentos de pressão a 600 MPa, a 70 °C, com duração de 5 minutos cada (HAYAKAWA et al., 1994).

Buzrul et al. (2005), estudaram o efeito da temperatura na inativação do *Alycyclobacillus acidoterrestris* com alta pressão. O aumento da pressão e da

temperatura de processamento aumentou a inativação. Conseguiu-se uma redução de 6 log com a aplicação de 350MPa, sendo que a 50 °C foram necessários 30 minutos e a 35 °C, 150 minutos para a mesma redução.

Park et al. (2001) investigaram o efeito do tratamento com alta pressão hidrostática na inativação de *Lactobacillus viridescens*. Foram aplicadas pressões de 400, 500 e 600 MPa por 5 minutos, reduzindo a contagem de células em 2, 7 e 8 logs, respectivamente. A combinação de alta pressão e temperatura apresentou efeito sinérgico na inativação microbiana.

Palou et al. (1998) avaliaram o efeito da aplicação de alta pressão oscilatória na inativação de ascósporos de *Byssochlamys nivea* em sucos de fruta. Os ascósporos sobreviveram ao tratamento com alta pressão à 21 °C e apenas uma unidade log foi reduzida quando a temperatura foi aumentada para 60°C. A aplicação de pressão oscilatória foi capaz de reduzir em 4 logs a população inicial. Concluiu-se que a pressão de 689 MPa usada no experimento não foi suficiente para inativar os ascósporos de *B. nivea*, sendo necessário o uso de pressões acima de 800 MPa.

Foi estudado o efeito de um tratamento combinando pressão e temperatura na inativação dos fungos termorresistentes *Byssochlamys nivea*, *Byssochlamys fulva*, *Eurotium (Aspergillus fischeri)*, *Eupenicillium spp.* e *Paecilomyces spp.* Todas as formas vegetativas foram inativadas a 300MPa a 25°C. Com exceção do *B. nivea*, a contagem dos ascósporos foi reduzida com um tratamento com pressões entre 300 e 600MPa e temperatura entre 10 e 60°C. Os ascósporos de *B. nivea* necessitaram de pressões acima de 600MPa e temperatura acima de 60 °C, para que a inativação ocorresse. O pH apresentou pouca influência na inativação, enquanto que a diminuição da atividade de água mostrou efeito protetor (BUTZ et al., 1996).

Patazca et al. (2006) estudaram a inativação de *Geobacillus stearothermophilus* utilizando alta pressão (500 a 700 MPa) e altas temperaturas (92 a 111°C). A taxa de inativação dos esporos aumentou com a temperatura e pressão. O valor D a pressão constante variou de 29,4 a 108,8 segundos a 92°C, 17,4 a 76 s a 100 °C e 6,1 a 51,3 s a 11 °C, com a pressão variando entre 500 e 700 MPa. Realizou-se teste para verificar a resistência térmica do *G. stearothermophilus* no qual foi observado o valor D à 121°C de 5,5 minutos, confirmando a alta resistência ao calor desse microrganismo.

2.2.3 Efeito da Alta pressão sobre a atividade antioxidante

Segundo o USDA (1998), antioxidantes naturais são substâncias encontradas em alimentos que reduzem significativamente os efeitos adversos das espécies reativas de oxigênio, nitrogênio ou ambas, em condições fisiológicas normais.

Vários compostos presentes nos alimentos podem agir como antioxidantes, sendo metais como o selênio e o zinco, vitamina C, A e E, e compostos fenólicos alguns dos mais estudados.

O tratamento por alta pressão influencia a estabilidade de vitaminas e o rendimento da extração de compostos bioativos. Uma vez que vitaminas e fenólicos representam a maioria dos antioxidantes presentes nos vegetais, a atividade antioxidante também poderá sofrer alterações (OEY et al., 2008).

O efeito da pressão na capacidade antioxidante de vegetais e frutas não é sempre o mesmo. Não foi observada nenhuma mudança na atividade antioxidante de polpa de tomate submetida a pressões de 500 e 800 MPa por 5 minutos (FERNANDEZ-GARCIA et al., 2001b), e o mesmo foi observado para suco de laranja tratado nas mesmas condições (FERNANDEZ-GARCIA et al., 2001a).

Indrawati et al. (2004) estudaram o efeito da APH (100 a 800 MPa) combinada com aumento de temperatura (30 a 65°C) e diferentes tempos de retenção (até 90 minutos) na capacidade antioxidante (índice TEAC -Trolox Equivalent Antioxidant capacity) de suco de laranja e de cenoura. O índice TEAC do suco de laranja diminuiu após o tratamento com pressões de 300 e 600 MPa em 3% e 17%, respectivamente. Em todas as temperaturas estudadas, a capacidade antioxidante decresceu mais rapidamente com o aumento da pressão. Já a capacidade antioxidante do suco de cenoura apresentou um aumento com a pressão, porém esse aumento foi reduzido quando a pressão foi elevada em conjunto com temperaturas superiores a 40°C. A diminuição da atividade antioxidante no suco de laranja durante o processamento por alta pressão ocorre principalmente pela degradação do ácido ascórbico.

O tratamento utilizando temperaturas altas (600 MPa/60 °C/30min) reduziu em 25% a atividade antioxidante de suco de maçã e teve seu teor inalterado por 4 meses de armazenamento (FERNANDEZ-GARCIA et al., 2000).

A atividade antioxidante de grãos e brotos de feijão-de-corda pressurizados a temperatura ambiente foi investigada por Doblado et al. (2007). Na faixa de pressão estudada, 300 a 500 MPa, houve uma leve redução na atividade dos brotos com o aumento da pressão, já os grãos não sofreram alteração na atividade antioxidante.

2.2.4 Compostos fenólicos e o efeito da alta pressão

O interesse pelo estudo dos compostos fenólicos vem aumentando nos últimos anos, fato que se deve ao reconhecimento de suas propriedades antioxidantes, à grande abundância de tais compostos na dieta e seu provável papel na prevenção de inúmeras doenças associadas com o stress oxidativo, como câncer, doenças cardiovasculares e neurodegenerativas. Além disso, os fenólicos fazem parte do mecanismo de modulação da atividade de diversas enzimas e receptores celulares, e possuem outras funções biológicas que ainda não estão bem compreendidas (MANACH et al., 2004; MIDDLETON et al., 2000).

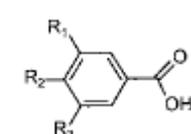
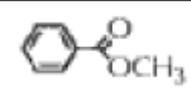
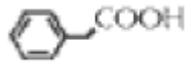
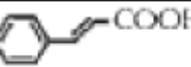
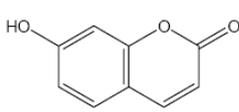
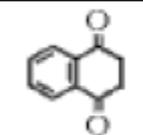
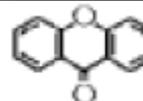
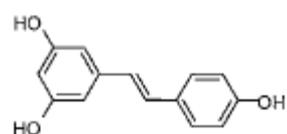
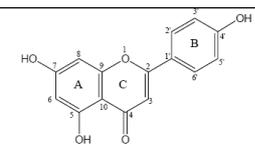
Compostos fenólicos são metabólitos secundários de plantas, envolvidos na defesa contra radiação ultravioleta e patógenos. Quimicamente, pertencem a uma classe de compostos que possuem um ou mais grupamentos hidroxila ligados a um anel aromático e, geralmente, encontram-se associados a ésteres e glicosídeos (Tabela 3). Eles são importantes para a aparência, sabor e aroma dos alimentos de origem vegetal e possuem uma estrutura química e propriedades biológicas diversas. Eles podem ser classificados em diferentes grupos em função do número de anéis fenólicos que possuem e dos elementos estruturais que se ligam aos anéis. Além dessa diversidade eles ainda podem estar associados a carboidratos e ácidos orgânicos ou ligados uns aos outros. (TOMAS-BARBERAN & ESPIN, 2001; VERMERRIS & NICHOLSON, 2006).

Evidências epidemiológicas relacionam uma dieta rica em frutas e vegetais a riscos reduzidos de incidência de doença coronariana, câncer e outras doenças crônicas. Frutas e vegetais contém vários compostos promotores de saúde incluindo fibras, vitaminas e minerais. Fenólicos não são essenciais para o organismo humano, porém, a longo prazo, podem proteger contra diversas doenças (MULLEN et al., 2007; BRAVO, 1998; STEINMETZ & POTTER, 1996).

Betoret et al. (2009) estudaram o efeito da homogenização a alta pressão em suco de frutas cítricas e observaram que não houve redução no teor dos flavonóides

estudados (nairutina, hesperidina, didimina), sendo que após 5 meses de armazenamento a -18 °C, apenas a hesperidina teve seu teor reduzido em níveis de pressão elevados.

Tabela 3. Classificação dos compostos fenólicos

Número de carbonos	Esqueleto	Classificação	Exemplo	Estrutura básica
7	C ₆ -C ₁	Ácidos Fenólicos	Acido gálico	
8	C ₆ -C ₂	Acetofenonas		
8	C ₆ -C ₂	Acido fenilacetico		
9	C ₆ -C ₃	Acidos hidroxicinamicos	Acido cumárico	
9	C ₆ -C ₃	Cumarinas	Esculetina	
10	C ₆ -C ₄	naaftoquinonas	Mangiferina	
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	Xantonas	Gentisina	
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	Stilbenos	Resveratrol	
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonóides	Naringenina	

Fonte: VERMERRIS & NICHOLSON, 2006.

As isoflavonas são compostos fenólicos do grupo dos flavonóides que possuem atividade estrogênica e seu consumo está associado à diminuição do colesterol, prevenção de câncer de mama e de próstata e alívio dos sintomas da menopausa. Avaliou-se o efeito da alta pressão nas isoflavonas de leite de soja e observou-se que a pressão (400 – 750 MPa) e a temperatura inicial (25 – 75 °C) não alteraram a concentração de isoflavonas. Já o perfil de isoflavonas foi afetado pela temperatura inicial do processo. A 75 °C os teores dos malonil-β-glicosídeos aumentaram enquanto que o teor dos β-glicosídeos diminuiu, sugerindo que a pressão combinada com temperaturas elevadas promove a interconversão da forma malonil à forma β-glicosídeo (JUNG et al., 2008).

Patras et al. (2009b) estudaram o efeito da alta pressão (400 a 600 MPa) no teor de fenólicos totais em polpa de tomate e de cenoura. O tratamento com alta pressão manteve os níveis de fenólicos das amostras *in natura* e, a 600 MPa, houve um significativo aumento no teor de fenólicos tanto para a cenoura quanto para o tomate.

O processamento por alta pressão pode ser usado para o tratamento de frutas sensíveis ao calor, como o morango. No processamento realizado na fruta cortada ao meio não foram observadas alterações no teor de fenólicos totais e de antocianinas. Contudo, uma perda no teor de fenólicos totais ($22\pm 13\%$) e de antocianinas ($27\pm 10\%$) foi observada após três meses sob refrigeração (TEREFE et al., 2009).

Outro estudo realizado com morangos relatou ser possível o armazenamento da fruta tratada a 800 MPa sob refrigeração por até 4 dias, sem alterações significativas no teor original de antocianinas (ZABETAKIS et al., 2000). Já com groselhas, o tratamento que proporcionou melhores resultados foi de 600MPa, apresentando as menores perdas nos teores de antocianinas em 5 dias de armazenamento sob refrigeração.

Em geral, os compostos fenólicos mostram-se relativamente resistentes aos efeitos da alta pressão. Os níveis de fenólicos em polpa de morango processada a 600 MPa aumentaram significativamente em comparação com a amostra não-tratada. Uma tendência similar foi observada para polpas de amoras-silvestres (“blackberries”). Já nos tratamentos a 400 e 500 MPa o teor de fenólicos não foi significativamente diferentes da polpa não tratada. O conteúdo de antocianinas nas amostras tratadas a 400, 500 e 600 MPa aumentou, porém o efeito não foi significativo (PATRAS et al., 2009a). Esse aumento no teor de fenólicos totais pode estar relacionado a um aumento na extratibilidade de alguns compostos após o processamento por alta pressão. Corrales et al. (2008) observaram um aumento de cerca de 75% no total de fenólicos extraído após tratamento por alta pressão (600 MPa/70°C/1hora).

Outros estudos foram realizados justamente com o objetivo de aumentar a extração de compostos fenólicos e antioxidantes de frutas ou de seus subprodutos. Prasad et al. (2009) estudou a extração de fenólicos de “Logan”, fruta de origem asiática, e observou um aumento da extração com o aumento da pressão, alcançando 50% a mais de fenólicos no extrato com tratamento a 500 MPa por 2,5 minutos. Corrales et al. (2009) avaliou a extração de antocianinas a partir de cascas de uvas e observou um aumento ao redor de 100% nas amostras tratadas a 200MPa por 30 minutos.

Roldan-Marín et al. (2009) observaram que tratamentos combinando baixa temperatura (5°C) com pressão de 400 MPa por 5 minutos aumentou significativamente a extração de fenólicos de cebola.

2.2.5 Efeito da alta pressão sobre enzimas

Proteínas são estruturas delicadas, mantidas por interações entre a cadeia protéica (determinada pela seqüência de aminoácidos) e pelas interações com o solvente ao redor. Mudanças nos fatores ambientais, como pressão e temperatura, podem perturbar o complexo balanço das interações intramoleculares e entre solvente-proteína, e podem, conseqüentemente, levar ao desdobraimento e/ou desnaturação da cadeia de peptídeos (HENDRICKX et al., 1998).

Os rearranjos estruturais presentes nas proteínas sob pressão são governados pelo princípio de Le Chatelier. A redução do volume acompanhando a desnaturação surge da formação ou ruptura de ligações não-covalentes (mudanças no volume conformacional)

e dos rearranjos das moléculas de solvente (mudanças no volume de solvatação) (HENDRICKX et al., 1998).

A respeito das mudanças no volume conformacional, ao menos a baixas temperaturas, ligações covalentes são pouco afetadas pela alta pressão e, conseqüentemente, a estrutura primária das proteínas permanece intacta durante o tratamento sob pressão (CHEFTEL, 1995). Por outro lado, mudanças na estrutura secundária ocorrem em pressões muito altas e estas levam a uma desnaturação irreversível (HENDRICKX et al., 1998). Isto pode ser explicado pelo fato das pontes de hidrogênio, que são as responsáveis pela manutenção da estrutura em hélice- α ou folha- β (secundária) dos peptídeos, serem favorecidas a baixas pressões e serem rompidas em pressões muito altas.

A ruptura de ligações iônicas também é fortemente afetada pelo aumento de pressão. O efeito da pressão sobre as interações hidrofóbicas é mais complexo. As opiniões sobre o efeito da pressão sobre estas interações são tão divergentes quanto as opiniões sobre a natureza das próprias interações hidrofóbicas. Mudanças significantes na estrutura terciária (mantidas principalmente por interações iônicas e hidrofóbicas) são mais observadas em pressões maiores que 200 MPa. Proteínas multiméricas (de estrutura quaternária), mantidas juntas por ligações não-covalentes, são dissociadas por uma pressão comparativamente baixa (menor que 150 MPa). Ao contrário dos tratamentos térmicos, onde tanto ligações covalentes como não-covalentes são afetadas, o processamento à alta pressão em temperatura ambiente apenas rompe ligações químicas relativamente fracas (pontes de hidrogênio, ligações hidrofóbicas e iônicas) (HENDRICKX et al., 1998).

Alterações na conformação de proteínas podem ocasionar mudanças nas propriedades funcionais de proteínas de alimentos e, por isso, o tratamento à alta pressão pode ser usado para criar novos produtos alimentícios com textura e sabor únicos. Em geral, pressões acima de 300 MPa à temperatura ambiente causam desnaturação protéica irreversível, enquanto pressões menores resultam em mudanças reversíveis na estrutura da proteína (CHEFTEL, 1995).

Enzimas são uma classe especial de proteínas que possuem atividade biológica devido à presença de um sítio ativo. Mesmo pequenas mudanças no sítio ativo podem causar a perda da atividade enzimática. Uma vez que a desnaturação de proteínas está associada com mudanças conformacionais, essa pode modificar a funcionalidade da enzima.

O efeito da alta pressão sobre enzimas pode ser dividido em duas classes. Na primeira a aplicação de baixas pressões pode causar a ativação ou aumento na atividade total de algumas enzimas, na segunda, por outro lado, o uso de altas pressões geralmente provoca a inativação das enzimas.

A atividade enzimática é um parâmetro importante na qualidade de frutas e vegetais, principalmente quando são cortados. Em vegetais e frutas inteiras, as enzimas estão geralmente compartimentadas. Contudo, quando os produtos são cortados essa compartimentação é destruída e as enzimas entram em contato com o substrato, causando mudanças indesejáveis nos alimentos (HOGAN et al, 2005).

As principais enzimas deteriorantes em frutas são polifenoloxidasas (PPO), responsáveis pelo escurecimento enzimático; pectina metil-esterases (PME), responsáveis pela desestabilização e mudanças na textura; e peroxidases, que provocam o aparecimento de odores desagradáveis (LUDIKHUYZE et al., 2003).

Em vegetais, a peroxidase (POD; EC 1.11.1.7) causa mudanças prejudiciais no sabor durante a estocagem. É uma das enzimas de origem vegetal mais resistentes ao processamento térmico e tem se mostrado bastante resistente à pressão.

Cano et al. (1997) estudaram o efeito de inativação enzimática da peroxidase, da polifenol-oxidase e pectina metil-esterase (PME), em morangos e produtos de laranja, variando a pressão e a temperatura. Em morangos, a atividade de POD foi reduzida em apenas 25% a 230 MPa a 43 °C por 15 minutos. Em suco de laranja, a atividade de POD foi reduzida em 50% sob 250 MPa, a 32 °C.

Rosenthal et al. (2002), ao estudarem a POD, também observaram interação entre pressão e temperatura, pois obtiveram atividades quase constantes com o aumento da pressão a temperatura ambiente; porém, com o incremento da temperatura, a atividade reduziu-se bruscamente, em mais de 60%, quando extratos enzimáticos de abacaxi foram tratados sob 600 MPa, a 60 °C, e por 45 minutos.

A atividade da POD no purê de tomate mostrou um aumento quando tratamentos combinados à temperatura foram desenvolvidos a pressões abaixo de 350 MPa, à temperatura ambiente (20 °C). Entretanto, uma significativa redução da atividade dessa enzima pode ser obtida adotando-se tratamentos com pressões acima de 350 MPa. Todavia, combinações de pressões (400 - 500 MPa) e temperaturas amenas (30 - 60 °C) levaram ao aumento da atividade da POD (HERNÁNDEZ & CANO, 1998).

O efeito da pressão a 400 MPa sobre a atividade da POD em morangos levou a incrementos de 13 e 1%, quando tratados por 5 e 10 minutos, respectivamente. Porém, quando tratado por 15 minutos, foi atingida uma redução de 5%. Pressões de 600 e 800 MPa foram mais eficazes na inativação da POD, enquanto, no geral, diminuições na ordem de 11 a 35% foram observadas, sendo a condição mais eficaz para inativação 600 MPa por 15 minutos (GARCIA-PALAZON et al., 2004).

Nas condições experimentais trabalhadas por Anese et al. (1995), a POD foi relativamente resistente a níveis de pressão abaixo de 900 MPa, com 1 minuto de tratamento. Uma perda total da sua atividade somente foi atingida a 900 MPa, ao mesmo tempo em que o aumento na atividade foi observado entre 300 e 500 MPa.

Diferentemente, Ogawa et al. (1990), em sucos de mandarina, mostraram uma notável redução na atividade dessa enzima sob pressões maiores, de 300 a 400 MPa, por 10 minutos, a 23 °C. Um tratamento a 900 MPa, durante 10 minutos, à temperatura ambiente, foi necessário para causar uma redução de 88% da atividade enzimática da POD em feijão verde. Os tratamentos combinados à temperatura reduziram a atividade em 600 MPa, mas nenhuma diferença significativa foi detectada a 700 MPa (HENDRICKX et al., 1998).

Em purê de morango, a POD foi sendo inativada de forma crescente até 300 MPa, em tratamentos a 20 °C, por 15 minutos. Acima de 300 MPa, nas mesmas condições de temperatura e tempo, a atividade da POD de purê de morango foi suavemente aumentada. Em temperaturas superiores a 45 °C, uma redução foi encontrada em todas as pressões (50 - 400 MPa). Nos sucos de laranja, à temperatura ambiente, a atividade da POD diminuiu continuamente até 400 MPa, em tratamentos com 15 minutos de duração. A maior taxa de inativação encontrada foi de 50% quando a temperatura de exposição foi a 32 °C. Tratamentos de APH, entre 33 e 60 °C, aumentaram a atividade de POD em suco de laranja (SEYDERHELM et al., 1996).

2.2.6 Carotenóides e o efeito da alta pressão

Os carotenóides são um dos mais importantes grupos de pigmentos naturais devido a sua vasta distribuição, diversidade estrutural e numerosas funções. Embora as fontes mais conhecidas de carotenóides sejam as plantas, eles também são encontrados em animais, como pássaros e crustáceos, e microrganismos. Uma vez que esses compostos podem ser biossintetizados apenas por plantas e microrganismos, a sua

presença em animais é atribuída à ingestão e posterior acumulação em determinados tecidos (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; OLSON & KRINSKY, 1995).

As estruturas dos carotenóides lhes conferem propriedades muito especiais e notáveis, que são a base das suas funções e ações variadas em todos os tipos de organismos vivos. Nas plantas eles localizam-se nos cloroplastos, geralmente associados a algumas proteínas, sendo essenciais para a fotossíntese, fotoproteção e estabilização de membranas (BRITTON, 1995). Além da atividade de pró-vitamina A de alguns carotenóides, esses pigmentos têm sido relacionados na prevenção ou na proteção contra doenças como câncer, problemas cardíacos, degeneração macular e catarata (JOHNSON et al., 2008; SCHWARZ et al., 2008; SLATTERY et al., 2000; OLSON, 1989). Eles também têm sido usados há muitos anos no tratamento de doenças fotossensíveis (ALALUF et al., 2002).

A maioria dos carotenóides deriva de uma estrutura basal de 40 carbonos, que inclui um sistema de duplas ligações conjugadas. A cadeia central pode apresentar grupos terminais cíclicos que podem ser substituídos por grupos funcionais contendo oxigênio. Baseado na sua composição, os carotenóides são divididos em suas classes: os carotenos, contendo apenas carbono e átomos de hidrogênio; e as xantofilas, que possuem pelo menos um átomo de oxigênio (STAHL & SIES, 2003; RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

Os carotenóides que podem ser convertidos em vitamina A são aqueles que possuem pelo menos um anel β -ionona não substituído, ligado a uma cadeia poliênica conjugada de no mínimo 11 carbonos. O β -caroteno, α -caroteno e β -criptoxantina são pró-vitamínicos A, sendo que o primeiro apresenta aproximadamente o dobro de atividade do que os demais (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). A luteína e zeaxantina estão relacionadas com a proteção à degeneração macular e catarata (MOELLER et al., 2000). O licopeno, devido ao seu alto potencial como antioxidante natural (WOODALL et al., 1997), vem sendo relacionado com a proteção contra câncer e doenças cardiovasculares (GIOVANNUCCI, 1999).

O padrão de ligações dupla conjugadas do carotenóide determina as suas propriedades de absorção de luz e influencia a sua atividade antioxidante e, de acordo com o número de duplas ligações, várias configurações *cis/trans* são possíveis (STAHL & SIES, 2003). A *trans*, por ser termodinamicamente mais estável, é predominante na natureza, porém sabe-se que o isômero *cis* pode ser encontrado em plantas (HUMPHRIES & KHACHIK, 2003), particularmente em várias frutas (GODOY & RODRIGUEZ-AMAYA, 1994) e em vegetais folhosos (KIMURA & RODRIGUEZ-AMAYA, 2003).

A alta pressão, em geral, tem pouco efeito sobre a estabilidade dos carotenóides em alimentos. O tratamento a temperatura ambiente de um suco misto de laranja, limão e cenoura (500 e 800 MPa por 5 minutos) e de polpa de tomate não influenciou o teor de carotenóides (FERNANDEZ-GARCIA et al., 2001a; FERNANDEZ-GARCIA et al., 2001b).

Plaza et al. (2006a) estudaram a estabilidade de carotenóides em uma sopa de vegetais (“gazpacho”) durante 40 dias de armazenamento sob refrigeração. O tratamento por APH foi realizado a 60 °C por 15 minutos em duas condições de pressão, 150 e 350 MPa. Logo após o processamento, não houve diferença significativa no teor de carotenóides da sopa, porém após os 40 dias a perda foi maior nas amostras pressurizadas do que no controle, sendo que a pressão de 150 MPa foi a que apresentou a menor redução.

Ancos et al. (2000) processaram polpa de caqui com pressões variando de 50 a 400 MPa, a temperatura ambiente por 15 minutos. Observou-se um aumento na

extração dos carotenóides a 50 MPa (19%) e 400 MPa (16%) em relação à polpa controle, fato atribuído a melhor extração dos carotenóides majoritários violaxantina, luteína, anteroxantina, β -criptoxantina e β -caroteno. Não houve alterações na concentração de zeaxantina antes e depois dos tratamentos. As pressões de 150 e 300 MPa produziram uma leve e não significativa perda, tanto nos carotenóides totais quanto individualmente.

Sanchez-Moreno et al. (2003a) observaram um aumento na extração de carotenóides em suco de laranja com o aumento da pressão de 100 MPa (10%) para 350 e 400 MPa (24 e 31%), sugerindo que a extratibilidade é dependente da pressão utilizada. Em outro estudo com suco de laranja, a alta pressão (400 MPa/40°C/1 minuto) provocou um aumento na extração dos carotenóides (53,88%) e no teor de vitamina A (38,74%) (SANCHEZ-MORENO et al., 2005). O aumento na extratibilidade deve-se possivelmente à desnaturação do complexo proteína-carotenóide, induzida por pressões acima de 300 MPa (HENDRIKX et al., 1998).

2.2.7 Efeito da alta pressão sobre a cor

O tratamento com alta pressão tem efeito variado sobre alguns dos pigmentos responsáveis pela cor de frutas e vegetais (clorofila, carotenóides, antocianinas, etc). Entretanto, durante o armazenamento podem ocorrer mudanças na cor devido à inativação incompleta de enzimas e microrganismos, que podem resultar em reações indesejáveis no alimento (OEY et al., 2008a). O efeito da APH sobre a cor também é fortemente relacionada à temperatura de processamento e ao produto, alguns não sofrem alterações enquanto outros têm a sua cor fortemente alterada (MATSER et al., 2004).

Além da instabilidade dos pigmentos, outra causa de descoloração de produtos tratados por APH é o escurecimento enzimático, ou então o provocado pela reação de Maillard (OEY et al., 2008a).

A clorofila é responsável pela cor verde em folhas e talos de plantas. Observou-se que as clorofilas α e β possuem diferentes estabilidades em relação à pressão e temperatura. À temperatura ambiente, elas são extremamente estáveis à pressão, porém quando a temperatura é maior que 50°C, a pressão diminuiu significativamente o teor de clorofila em suco de brócolis, sendo que a clorofila β mostrou-se mais sensível à pressão (BUTZ et al., 2002; VAN LOEY et al., 1998).

Os carotenóides, abordados no item anterior, estão presentes nos produtos de cor amarela, laranja e vermelha de frutas e vegetais, e são considerados relativamente resistentes à pressão. Antocianinas são pigmentos flavonóides responsáveis pelas tonalidades vermelha a azul e são compostos relativamente estáveis à pressão, porém tendem a se degradar durante o armazenamento. Vários estudos têm demonstrado a estabilidade da cor após o tratamento por alta pressão em frutas como manga (GUERRERO-BELTRÁN et al., 2006; AHMED et al., 2005; GUERRERO-BELTRÁN et al., 2005); laranja (BETORET et al., 2009; BAXTER et al., 2005; BULL et al., 2004; POLYDERA et al., 2003); abacaxi (MARCELLINI, 2006); morango (TEREFE et al., 2009); açaí (MENEZES, 2005); produtos de frutas como guacamole (PALOU et al., 2000); e vegetais, como tomate (PATRAS et al., 2009b; HSU, 2008; PLAZA et al., 2003); e cenoura (PATRAS et al., 2009b). Entretanto, outras frutas e produtos derivados apresentaram descoloração após a pressurização, como melão (WOLBANG et al., 2008), amora (PATRAS, 2009a), geléia de morango (GIMENEZ et al., 2000), purê de banana (PALOU et al., 1999).

2.2.8 Efeito da alta pressão sobre compostos voláteis

Geralmente, considera-se que a APH mantém o sabor “fresco” de frutas e vegetais, uma vez que a estrutura dos compostos de aroma não é diretamente afetada pela pressão. Esse fato foi observado por análises químicas e/ou sensoriais, em alguns estudos com morango (LAMBERT et al., 1999), suco de tangerina (TAKAHASHI et al., 1993), suco misto de laranja, cenoura e limão (FERNANDEZ-GARCIA et al., 2001a), suco de uvas brancas (DAOUDI et al., 2002) e suco de goiaba (YEN & LIN, 1999).

Butz et al. (1994) estudaram o efeito da alta pressão (600 MPa) no aroma de cebolas cruas e observaram mudanças sensoriais e no perfil de aroma do produto. A cebola processada a 300 MPa apresentou aroma de “cozido” segundo os provadores, e houve uma diminuição no teor de dipropil-dissulfeto, responsável pela pungência e aroma característico de cebola fresca, e o aumento de compostos associados ao aroma de cebola cozida ou frita.

Baxter et al. (2005) avaliaram o perfil de aroma de suco de laranja pressurizado durante armazenamento por 12 semanas. Não foram detectadas diferenças logo após o processamento em relação aos voláteis, e o suco pressurizado manteve aroma aceitável ao consumidor até o fim do período de armazenamento.

2.3 Análise Sensorial

A análise sensorial de alimentos é uma disciplina científica que trabalha com as percepções sensoriais humanas e suas respostas afetivas a alimentos, bebidas e seus componentes. É multidisciplinar por natureza, utilizando métodos de pesquisa de comportamento para resolver questões da área de ciência de alimentos (TUORILA & MONTELEONE, 2009).

A análise sensorial é utilizada para evocar, medir, analisar e interpretar as reações às características de alimentos ou produtos, e como eles são percebidos pelos cinco sentidos, visão, tato paladar, olfato e audição (IFT, 2009). É importante ressaltar que a análise sensorial compreende o uso de todos os sentidos, assim, se um indivíduo é solicitado a avaliar determinado atributo, a cor por exemplo, e nenhum cuidado é tomado para excluir o aroma do produto, muito provavelmente a sua resposta à cor será influenciada pelo aroma de uma maneira imprevisível (STONE & SIDEL, 2004).

A utilização da análise sensorial cresceu rapidamente na segunda metade do Século XX, juntamente com a expansão de alimentos processados e indústrias de bens de consumo. Ela compreende técnicas precisas para a medição de respostas humanas a alimentos e minimiza os efeitos da influencia da marca e de outras informações na percepção do consumidor (LAWLESS & HEYMANN, 1999).

A sua importância é baseada na relevância das percepções do consumidor na aceitação e no sucesso comercial de um alimento ou bebida e, assim, não é viável produzir, distribuir e anunciar produtos sem ao menos ter um idéia de sua aceitação pelos consumidores. Segundo Stone & Sidel (2004), a análise sensorial pode ser usada com várias finalidades na indústria de alimentos, dependendo das necessidades da empresa:

- Desenvolvimento de novos produtos;
- Reformulação de produtos e redução de custos;
- Monitoramento da concorrência;
- Controle de qualidade;
- Especificação sensorial de produtos;

- Especificação sensorial de matérias-primas;
- Estabilidade durante o armazenamento;
- Alterações de processos e/ou ingredientes;
- Marketing;
- Estudos de consumidor.

Métodos sensoriais específicos foram desenvolvidos para medir ou estimar precisa e objetivamente a resposta humana aos estímulos sensoriais (DRAKE, 2007). Existem basicamente três tipos de testes sensoriais: os afetivos ou de aceitação, também conhecidos como testes de consumidor: os de diferença, como o teste triangular, duotrio, teste de comparação múltipla, testes de sensibilidade, ordenação, grau de diferença; e os descritivos, como a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ), o Perfil de Textura e o Perfil Livre. Testes descritivos são aqueles que descrevem qualitativa e quantitativamente as características sensoriais das amostras, enquanto os testes discriminativos têm por objetivo verificar se existe diferença perceptível ou não entre duas ou mais amostras. Os testes afetivos dizem respeito à opinião pessoal do julgador, isto é, de consumidores cuja percepção a respeito de um produto pode ser expressa em termos que variam do agradável ao desagradável (MEILGAARD et al., 1999; STONE & SIDEL, 2004).

A análise descritiva é um dos métodos mais abrangentes e flexíveis, capaz de fornecer informações detalhadas sobre as propriedades sensoriais de um alimento, constituindo-se em uma das mais importantes ferramentas da análise sensorial. Quando utilizada em conjunto com testes de consumidor, fornece importantes informações para introdução e posicionamento estratégico de produtos no mercado (MURRAY et al., 2001) pois permite identificar os atributos do produto que dirigem a preferência do consumidor.

2.3.1 Análise Descritiva Quantitativa (ADQ)

A Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) foi desenvolvida por Stone et al. (1974), sendo considerada uma das principais e mais sofisticadas metodologias para a Análise Sensorial. Os dados gerados pela ADQ fornecem a descrição sensorial completa de produtos, permitindo mapear as diferenças e similaridades entre eles e aponta quais atributos são importantes na aceitação do consumidor. Os resultados permitem relacionar ingredientes ou variáveis de processamento às mudanças específicas nos atributos sensoriais (MURRAY et al., 2001 ; STONE & SIDEL, 2004).

Por definição, a ADQ é uma metodologia sensorial que fornece descrições quantitativas dos produtos, baseadas nas percepções de um grupo de provadores treinados. É uma descrição sensorial completa, levando em consideração todas as sensações percebidas – visual, auditiva, olfativa, quinestésica, etc. – quando um produto é avaliado. A palavra produto pode significar uma idéia ou conceito, um ingrediente, ou um produto final disponível para o consumidor. A avaliação é definida em parte pelas características do produto, determinadas pelos provadores, e em parte pela natureza do problema (STONE & SIDEL, 2004).

A ADQ envolve uma série de etapas: recrutamento e pré-seleção de provadores, levantamento de atributos sensoriais e desenvolvimento de metodologia para descrever estes atributos, treinamento de provadores pré-selecionados, avaliação e seleção final da equipe de provadores, realização dos testes e análise estatística dos dados (STONE & SIDEL, 2004). A ADQ apresenta algumas vantagens sobre outros métodos de avaliação, a saber: (1) a confiança no julgamento de uma equipe composta por 10-12 provadores treinados, ao invés de alguns poucos especialistas; (2) o desenvolvimento de uma linguagem descritiva objetiva, mais próxima à linguagem do consumidor; (3) o

desenvolvimento consensual da terminologia descritiva a ser utilizada, o que implica em maior concordância de julgamentos entre os provadores; (4) os produtos são analisados com repetições por todos os julgadores em testes à cega e os dados estatisticamente analisados (STONE & SIDEL, 2004).

Os dados gerados permitem o desenvolvimento de um modelo multidimensional do produto de forma quantitativa. Este modelo é apresentado na forma de um gráfico denominado gráfico aranha, permitindo a comparação visual dos produtos estudados.

Uma forma mais eficiente de se analisar os dados da ADQ é por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), uma técnica de análise estatística multivariada que, permite identificar os atributos que melhor caracterizaram as amostras. Na representação gráfica dos componentes principais, a variabilidade que ocorre entre as amostras é dividida em eixos ortogonais. O primeiro eixo explica a maior parte da variabilidade entre as amostras, seguido pelo segundo eixo, e assim por diante. Podem-se analisar muitos eixos, entretanto, como a maior parte da variabilidade é explicada nos três primeiros eixos, usualmente apenas estes são utilizados. A proximidade entre amostras sugere semelhanças entre estas com relação aos atributos sensoriais avaliados. A separação espacial das amostras sugere que elas apresentam características sensoriais marcadamente diferentes entre si (BORGOGNONE et al., 2001; LAWLESS & HEYMANN, 1999).

Vários trabalhos podem ser encontrados na literatura relatando o uso da ADQ, porém poucos trabalhos foram desenvolvidos com produtos pressurizados. Serrano et al. (2004) observaram mudanças nos atributos de textura de queijo cheddar tratado por APH. Laboissière et al. (2007), em suco de maracujá pressurizado, observaram muitas similaridades entre o suco *in natura* e o processado por APH. Baxter et al. (2005) trabalharam com suco de laranja tratado por APH e não observaram diferenças entre o pressurizado e o *in natura* em diversos atributos, assim como Boynton et al. (2002) em manga e carambolas fatiadas submetidas à APH, e Porreta et al. (1995) em suco de tomate submetido à alta pressão. Suco de laranja processado por APH também manteve características similares ao do suco *in natura* (POLYDERA et al., 2005), e não houve alteração nos atributos sensoriais de vinho pressurizado (MOK et al., 2006). Marcellini (2006) avaliou suco de abacaxi processado por APH e observou similaridades com o suco *in natura*.

Os resultados da ADQ quando combinados com os do teste de aceitação, através de análise multivariada (Análise dos Componentes Principais, Análise de Segmentos, Mapa da Preferência), permite aos fabricantes de alimentos adequarem seus produtos de acordo com as características preferidas pelos consumidores de um dado segmento de mercado ou público-alvo. Desta forma, é possível saber quais atributos sensoriais devem ser atenuados, intensificados, suprimidos ou acrescentados a um produto para que este atenda as expectativas do consumidor (STONE & SIDEL, 2004).

2.3.2 Teste de aceitação

A aceitação e a preferência das propriedades sensoriais dos alimentos são critérios de fundamental importância na determinação da decisão de compra. Existem duas classes de testes de consumidor, o de aceitação, em que os produtos são apresentados individualmente e é gerada uma resposta hedônica sem a comparação direta com outros produtos; e o de preferência, em que o indivíduo é solicitado a escolher um preferido entre diversos produtos (LAWLESS & HEYMANN, 1999).

Os métodos de aceitação medem o grau que o indivíduo gostou ou desgostou de um determinado produto, e geram dados numéricos que permitem a aplicação de

estatística paramétrica e a posterior comparação dos resultados com outros estudos. Existe uma relação quase sempre óbvia e direta entre a medição da aceitação e a preferência de um produto, de maneira que é possível inferir sobre a preferência de um produto a partir dos dados de aceitação, determinando qual produto obteve uma nota significativamente maior (STONE & SEIDEL, 2004). Já o teste de preferência origina dados ordinais que permitem a identificação da amostra preferida, porém, sem saber o quanto o indivíduo “gostou/desgostou” da amostra, já que ele pode gostar de várias mas é forçado a escolher uma, como também pode desgostar de todas e, ainda assim, ter que escolher uma “preferida”.

Uma questão fundamental no planejamento de um teste de aceitação é o número de consumidores que são necessários para o teste. Hough et al. (2006) estimaram o número mínimo de consumidores que deve ser utilizado, considerando os erros médios de 108 experimentos, sugerindo o uso de 112 pessoas.

A escala mais usada nos métodos afetivos é a escala hedônica de nove pontos, desenvolvida por Peryam & Pilgrim em 1957, devido à confiabilidade de seus resultados e à facilidade de utilização pelos provadores. É uma escala de categorias em que a dimensão gosto/desgosto é dividida em nove categorias, indo de “desgostei extremamente” a “gostei extremamente”, com uma categoria neutra, “nem gosto nem desgosto”. As respostas são diretas e de magnitude hedônica, isto é, relacionadas ao “gostar”, uma vez que o indivíduo baseia sua escolha nas suas próprias sensações em relação ao produto (JAEGER & CARDELLO, 2009).

Outra escala usada em testes afetivos é a “escala relativa ao ideal”, geralmente usada no desenvolvimento e na otimização de produtos. O seu uso consiste em perguntar ao consumidor se o produto é ideal, “fraco” / “pouco” ou “forte” / “muito” em relação a um determinado atributo. Na avaliação de sucos, por exemplo, o consumidor pode ser solicitado a avaliar os protótipos em relação à doçura, acidez, diluição (entre outras características), e indicar em que ponto da escala se encontra cada uma das amostras. Baseado na resposta dos consumidores, a indústria de sucos pode ajustar a formulação na tentativa de aumentar a sua aceitabilidade (POPPER & KROLL, 2005).

De acordo Meilgaard et al. (1999), a utilização da “escala relativa ao ideal” geralmente visa atender quatro objetivos principais: verificação do posicionamento do produto no mercado; otimização da formulação do produto; desenvolvimento de novos produtos e avaliação do potencial de mercado.

Considerando que o teste de aceitação utilizando escala hedônica pode medir, com certa segurança, o grau de gostar e a aceitação de um produto, é possível obter, por meio dos resultados desses testes, uma indicação do produto ou produtos que terão melhor desempenho, com a possibilidade de alcançarem sucesso no mercado.

2.3.3 Mapa de preferência

Considerar as preferências individuais dos consumidores tem sido fundamental para a indústria que, em função da atual competitividade dos mercados, procura identificar consumidores potenciais e dirigir a otimização e a venda de produtos para mercados específicos (VILLANUEVA, 2003).

Técnicas sensoriais têm sido desenvolvidas para examinar as preferências de cada consumidor e ainda correlacionar essa preferência a uma série de medidas analíticas (sensoriais ou instrumentais), entre elas encontram-se o Mapa de Preferência Interno (MPI ou MDPREF) e o Mapa de Preferência Externo (MPE ou PREFMAP) (GUINARD et al., 2001).

Mapa Interno de Preferência (MIP)

O MIP utiliza apenas os dados de preferência ou aceitação e gera um resumo das direções principais de preferência, podendo identificar segmentos de consumidores. Foi primeiramente descrito por Carrol em 1972, e compreende um tratamento multidimensional dos dados afetivos baseada na Análise de Componentes Principais e na Análise de Regressão Polinomial (GREENHOFF & MacFIE, 1994).

É gerado um mapa no qual os produtos são representados como pontos e cada indivíduo como um vetor, sendo que os pontos mais próximos de um conjunto de vetores correspondem aos produtos de maior preferência por aquele segmento de consumidores. As grandes vantagens do MPI sobre a ANOVA e os testes de médias convencionais são a identificação da preferência individual de cada consumidor em relação aos produtos avaliados, e a identificação de grupos de consumidores segmentados em função de suas preferências, possibilitando o estudo de cada segmento com relação a características sócio demográficas e hábitos e padrões de consumo (COSTELL et al., 2000; HELGESEN et al., 1997; GREENHOFF & MacFIE, 1994).

O MIP prioriza a avaliação da preferência do consumidor, uma vez que o espaço vetorial é formado a partir dos resultados de testes afetivos e os produtos são posicionados de acordo com a variação da preferência. É possível relacionar essas informações com dados instrumentais ou descritivos, que são inseridos no espaço já “fixado” pela preferência (VAN KLEEF et al., 2006).

Marcellini (2006) empregou o MIP para investigar a preferência dos consumidores em relação a suco de abacaxi pronto para beber obtido da polpa *in natura*, da polpa submetida ao tratamento por APH (300MPa/5min/25 °C), e de quatro marcas comerciais. A técnica revelou que as amostras de suco obtidas da polpa *in natura* e da polpa submetida a tratamento por APH foram apreciadas por um maior número de segmentos de consumidor, em relação às demais.

Pontes (2008), em estudo com néctar de manga processado por APH e de marcas comerciais, relatou a existência de três segmentos de consumidores, de acordo com a preferência. A amostra pressurizada e a *in natura* não apresentaram diferenças em relação à preferência.

Mathias (2008) utilizou o MIP na avaliação de presunto de peru processado por APH e observou que os consumidores perceberam pouca diferença entre as amostras controle e pressurizada, indicando que o processo de alta pressão hidrostática pouco afetou as propriedades sensoriais do presunto de peru e sugerindo que estas mudanças não afetaram a avaliação da preferência.

Labossière (2007) trabalhou com sucos de maracujá e constatou que os sucos controle e pressurizado foram, em média, preferidos pelos 112 consumidores que participaram do estudo. Após a segmentação dos participantes, cinco segmentos de consumidores foram identificados, dos quais quatro preferiram os sucos controle e APH e apenas um segmento preferiu os sucos comerciais disponíveis no mercado.

Mapa Externo de Preferência (PREFMAP)

O PREFMAP utiliza os dados da aceitação de cada consumidor com os obtidos por meio de testes descritivos ou da análise instrumental, com o propósito de identificar as características intrínsecas dos produtos que direcionam a preferência dos consumidores. A correlação dos dados gera padrões de preferência entre os consumidores e, como consequência, é possível segmentar os consumidores em relação

às suas preferências e definir as características sensoriais de um produto ideal para um determinado segmento da população (GREENHOFF & MacFIE, 1994).

São necessários três métodos estatísticos para gerar o PREFMAP. Primeiramente é feita a Análise de Componentes Principais nos dados descritivos para gerar o espaço vetorial, em seguida utiliza-se a Análise dos Segmentos (Cluster Analysis) nos dados da preferência para identificar segmentos de consumidor com preferências similares e, por último, uma análise de regressão correlaciona os resultados das duas primeiras análises (MEEILGARD et al., 2007).

A percepção dos atributos é priorizada, uma vez que o espaço vetorial é formado pela ACP dos dados descritivos e a localização dos produtos depende da variação desses dados (VAN KLEEF et al., 2006).

Marcellini (2006) empregou o PREFMAP para auxiliar na interpretação dos resultados da preferência dos consumidores de suco de abacaxi pronto para beber obtido da polpa *in natura*, da polpa submetida a tratamento por APH e de quatro marcas comerciais. A técnica revelou os descritores que dirigiram a preferência dos segmentos identificados neste estudo, no caso: cor amarela característica, aroma característico, sabor característico, consistência, sabor natural e presença de fibras. Laboissière (2007) relatou que a maioria dos segmentos de consumidores preferiu as amostras controle e APH em detrimento às amostras comerciais. Os atributos que dirigiram a preferência foram aroma característico de maracujá, aroma ácido, presença de partículas em suspensão, cor característica, adstringência e gosto ácido.

Segundo Van Kleef et al. (2006), o MIP é uma ferramenta de maior aplicabilidade em estudos de marketing e de segmentação de mercado, capturando melhor o “conhecimento sobre o consumidor”, enquanto que ao PREFMAP foi atribuída maior aplicabilidade tecnológica no desenvolvimento de produtos, capturando melhor o “conhecimento sobre o produto”.