



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**PITANGA E ACEROLA: ESTUDO DE PROCESSAMENTO,
ESTABILIDADE E FORMULAÇÃO DE NÉCTAR MISTO**

*Tese apresentada à Faculdade
de Engenharia de Alimentos da
Universidade Estadual de
Campinas para obtenção do
título de Doutor em Tecnologia
de Alimentos*

Alessandra Santos Lopes

*Engenheira Química
Mestre em Tecnologia de Alimentos*

Profa. Dra. Hilary Castle de Menezes

Orientadora

***Campinas
Maio, 2005***

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

L881p Lopes, Alessandra Santos
 Pitanga e acerola: estudo de processamento, estabilidade e
 formulação de néctar misto /Alessandra Santos Lopes . –
 Campinas, SP: [s.n.], 2005.

 Orientador: Hilary Castle de Menezes
 Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.
 Faculdade de Engenharia de Alimentos.

 1. Pitanga. 2. Acerola. 3. Polpa de frutas. 4. Reologia.
 5. Pasteurização. I. Menezes, Hilary Castle. II. Universidade
 Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.
 III. Título.

Título em inglês: Surinam cherry and west Indian Cherry: study of processing, stability
and formulation of a mixed nectar.

Palavras-chave em inglês (Keywords): Surinam cherry, West Indian Cherry, Fruit pulp,
Rheology, Pasteurization

Titulação: Doutor em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Hilary Castle de Menezes
 Maria Luzenira de Souza
 Flávio Luís Schmidt
 Helena Maria André Bolini
 Plínio Pinto de Mendonça Uchôa Junior
 Daniela Helena Pelegrine Guimarães

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Hilary Castle de Menezes
Orientadora

Prof^ª. Dra. Maria Luzenira de Souza
Membro

Prof. Dr. Flávio Luís Schmidt
Membro

Dra. Daniela Helena Pelegrine Guimarães
Membro

Prof^ª. Dra. Helena Maria André Bolini
Membro

Dr. Plínio Pinto de Mendonça Uchôa Júnior
Membro

DEDICO

Ao meu marido José Edmundo,

Aos meus avós e pais de coração José e Nazaré,

À minha mãe Fátima,

À minha tia e mãe de coração Georgina,

Ao meu irmão Beto.

AGRADECIMENTOS

À Prof^a Dr^a Dra. Hilary de Castle Menezes, por todos os seus ensinamentos dispensados durante nossa maravilhosa convivência profissional, e principalmente, pelo exemplo de pessoa que ela representa em minha vida;

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

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de Doutorado;

A todos professores do Colégio Nossa Senhora da Conceição, Colégio Marista Nossa Senhora de Nazaré, Universidade Federal do Pará e Universidade Estadual de Campinas, pelos valiosos ensinamentos repassados durante toda a minha vida escolar e universitária;

À amiga Elaine Belentani, estagiária FAPESP, pela sua grande dedicação e responsabilidade dispensadas à realização deste trabalho;

Às amigas Ana Koon e Priscila Ferraz, técnicas do Laboratório de Frutas, pela paciência, amizade e por todos os ensinamentos;

Aos amigos e funcionários da FEA: Aduino, Alessandra, Alice, Ana Lourdes, Ana Maria, Bernadete, Beth, Cosme, Creuza, Jaime, José Roberto, Marcelo, Marlene, Nelson, Reginaldo, Rogez, Simony e Tânia, pela ajuda e carinho;

Ao amigo Klaus Bouillon, que com seu cultivo orgânico pôde fornecer as belas e saborosas acerolas utilizadas neste trabalho;

Ao Dr. Alfredo Vitali do ITAL, pelo auxílio técnico na construção do pasteurizador tubular, uso do despolpador de escovas e, principalmente, pelo sempre agradável papo;

A todos colegas do DTA e da FEA, cujo apoio essencial contribuiu para a realização deste trabalho;

À minha amiga e irmã de coração Rafaella, por uma grande e sincera amizade para o resto de nossas vidas mesmo que com uma distância de muitos quilômetros entre nós;

Aos amigos de todas as horas... das tristezas, das brincadeiras e, acima de tudo, do grande companheirismo e sinceridade: Luciane, Gabriela, Marcus, Marcelo, Elisângela, Suzi, Éder e Laura;

À avó Osmarina e tios, Ana Lúcia e Pedro Tércio, pela amizade e incentivo;

Ao Tio Jorge (in memoriam) pelo exemplo de simplicidade que deixou para minha vida;

Aos meus sogros, cunhados e sobrinha, José Edmundo e Sandra, Tiago, Lúcia, Marcos e Maria Luiza, pelos inesquecíveis momentos de alegria e ajuda indispensável;

À minha mãe, avós e tia, Fátima, José e Nazaré, Georgina, por toda paz, ensinamento, amor e dedicação incalculáveis durante minha caminhada;

Ao meu irmão Alberto, por seu carinho e apoio;

Ao meu marido José Edmundo, minha alma gêmea, que alegria e torna tudo mais simples e bonito em minha vida;

A Deus....

Muito Obrigada!!!

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABELAS	xv
ÍNDICE DE NOMENCLATURA	xix
RESUMO GERAL	xx
GENERAL SUMMARY	xxii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1. IMPORTÂNCIA DAS FRUTAS NA ALIMENTAÇÃO HUMANA	3
2. PITANGA	4
3. ACEROLA	6
4. VITAMINA C	8
5. PIGMENTOS NATURAIS EM FRUTAS	9
5.1. CAROTENÓIDES	9
5.2. ANTOCIANINAS	10
5.3. COR INSTRUMENTAL	13
6. PROCESSAMENTO DE POLPA E NÉCTAR DE FRUTA	14
7. VIDA-DE-PRATELEIRA	19
8. REOLOGIA	22
9. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	27
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
CAPÍTULO 2 – ESTUDO DE EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE PITANGA (EUGENIA UNIFLORA L.)	41
RESUMO	41
SUMMARY	42
1. INTRODUÇÃO	43
2. MATERIAL E MÉTODOS	44
2.1. MATERIAL	44
2.1.1. Matéria-prima	44
2.1.2. Equipamentos	44
2.2. MÉTODOS	45
2.2.1. Determinação das porcentagens de polpa e semente nos frutos de pitanga <i>in natura</i>	45
2.2.2. Processos de extração de polpa de pitanga	45
2.2.3. Análises físicas, físico-químicas e químicas da polpa de pitanga	46
2.2.4. Análise sensorial	48
2.2.5. Análise estatística dos resultados	48

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1. DETERMINAÇÃO DAS PORCENTAGENS DE POLPA E SEMENTE NOS FRUTOS DE PITANGA IN NATURA	49
3.2. ANÁLISES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E QUÍMICAS DA POLPA DE PITANGA PADRÃO...	49
3.3. ESTUDO DOS PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DA POLPA DE PITANGA	52
3.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E QUÍMICA DA POLPA DE PITANGA OBTIDA NO DESPOLPADOR DE ESCOVAS	56
4. CONCLUSÕES	57
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
CAPÍTULO 3 – ESTUDO DA ESTABILIDADE DA POLPA DE PITANGA (EUGENIA UNIFLORA L.) SOB CONGELAMENTO	63
RESUMO	63
SUMMARY	64
1. INTRODUÇÃO	65
2. MATERIAL E MÉTODOS	67
2.1. MATERIAL	67
2.1.1. Matéria-prima	67
2.2. MÉTODOS	67
2.2.1. Condições de acondicionamento e estocagem da polpa de pitanga	67
2.2.2. Análises físicas e físico-químicas e químicas da polpa congelada de pitanga.....	67
2.2.3. Análise sensorial	68
2.2.4. Análise estatística dos resultados	69
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
3.1. ESTUDO DE ESTABILIDADE DA POLPA DE PITANGA CONGELADA	69
3.1.1. Características físicas, físico-químicas e químicas da polpa de pitanga congelada.....	69
3.1.2. Carotenóides totais	72
3.1.3. Cor instrumental	73
3.1.4. Análise sensorial	77
4. CONCLUSÕES	79
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
CAPÍTULO 4 – OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA DA POLPA DE PITANGA (EUGENIA UNIFLORA L.)	83
RESUMO	83
SUMMARY	84
1. INTRODUÇÃO	85
2. MATERIAL E MÉTODOS	87
2.1. MATERIAL	87
2.1.1. Matéria-prima	87

2.1.2. Equipamentos	87
2.2. MÉTODOS	88
2.3. PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA	89
2.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	89
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
3.1. COR INSTRUMENTAL	91
3.1.1. Coordenada de cromaticidade a*	92
3.1.2. Coordenada de cromaticidade b*	96
3.1.3. Diferença total de cor (ΔE^*)	100
3.2. ATIVIDADE ENZIMÁTICA	105
3.2.1. Peroxidase (POD)	105
3.1.2. Pectinametilesterase (PME)	106
3.3. OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO	109
4. CONCLUSÃO	110
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
CAPÍTULO 5 – ESTUDO REOLÓGICO DA POLPA DE PITANGA EM TEMPERATURAS DE PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA	115
RESUMO	115
SUMMARY	116
1. INTRODUÇÃO	117
2. MATERIAL E MÉTODOS	119
2.1. MATERIAL	119
2.1.1. Matéria-prima	119
2.1.2. Equipamentos	119
2.2. MÉTODOS	119
2.2.1. Análises físicas e físico-químicas	119
2.2.2. Caracterização reológica	119
2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	120
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	120
3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE PITANGA	120
3.2. COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE PITANGA	121
3.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS REOLÓGICOS DA POLPA DE PITANGA	124
3.4. EFEITO DA TEMPERATURA	125
4. CONCLUSÕES	127
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
CAPÍTULO 6 – POLPA DE ACEROLA: ESTUDO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO E ESTABILIDADE SOB CONGELAMENTO	131
RESUMO	131

SUMMARY	132
1. INTRODUÇÃO	133
2. MATERIAL E MÉTODOS	135
2.1. MATERIAL	135
2.1.1. Matéria-prima	135
2.1.2. Equipamentos	135
2.2. MÉTODOS	135
2.2.1. Análises físicas, físico-químicas e químicas da polpa de acerola	135
2.2.2. Processos de extração de polpa de acerola	137
2.2.3. Análise sensorial	138
2.2.4. Análise estatística dos resultados	138
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	139
3.1. ANÁLISES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E QUÍMICAS DA POLPA DE ACEROLA PADRÃO	139
3.2. ESTUDO DOS PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE POLPA DE ACEROLA	140
3.3. ESTUDO DE ESTABILIDADE DA POLPA DE ACEROLA CONGELADA	142
3.3.1. Características físicas e físico-químicas da polpa de acerola congelada	142
3.3.2. Ácido ascórbico	144
3.3.3. Antocianinas totais	145
3.3.4. Cor instrumental	147
3.3.5. Análise sensorial	147
4. CONCLUSÕES	148
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
CAPÍTULO 7 – ESTUDO DE FORMULAÇÃO E PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA DE NÉCTAR MISTO DE ACEROLA E PITANGA	153
RESUMO	153
SUMMARY	154
1. INTRODUÇÃO	155
2. MATERIAL E MÉTODOS	156
2.1. MATERIAL	156
2.1.1. Matéria-prima	156
2.1.2. Equipamentos	156
2.2. MÉTODOS	157
2.2.1. Caracterização física e físico-química das polpas de acerola e pitanga.....	157
2.2.2. Formulação dos néctares mistos de acerola e pitanga	157
2.2.3. Análise sensorial	158
2.2.4. Pasteurização térmica do néctar misto	159
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	159
3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS POLPAS DE ACEROLA E PITANGA	159

3.2. FORMULAÇÃO DOS NÉCTARES MISTOS DE ACEROLA E PITANGA	160
3.2.1. Análise sensorial	160
3.2.1.1. Aparência global	161
3.2.1.2. Aceitação global	164
3.3. OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FORMULAÇÃO DO NÉCTAR MISTO	166
3.4. PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA DO NÉCTAR MISTO DE ACEROLA E PITANGA	168
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172
CONCLUSÃO GERAL	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Frutos de pitanga em vários estádios de maturação	5
Figura 1.2.	Fruto de acerola maduro	7
Figura 1.3.	Espaço de cor CIELAB	14
Figura 1.4.	Processamentos de obtenção de polpa de fruta	18
Figura 1.5.	Fluidos Newtoniano e não-Newtonianos independentes do tempo	24
Figura 1.6.	Fluidos não-Newtonianos dependentes do tempo	24
Figura 1.7.	Etapas para o desenvolvimento do planeamento experimental e da otimização	28
Figura 2.1.	Diferença total de cor (ΔE^*) das amostras de polpa de pitanga obtidas nos despoldadores de pás e escovas	54
Figura 3.1.	Variação da luminosidade (L^*), das coordenadas de cromaticidade (a^* e b^*) e diferença total de cor (ΔE^*) para a polpa de pitanga congelada durante 90 dias de estocagem	74
Figura 3.2.	Modelo cinético de ordem zero da variação do parâmetro de cor a^* na polpa de pitanga congelada	75
Figura 3.3.	Modelo cinético de primeira ordem da variação do parâmetro de cor a^* na polpa de pitanga congelada	75
Figura 3.4.	Distribuição dos resíduos para os modelos de zero e primeira ordem	76
Figura 3.5.	Modelo cinético da diferença total de cor da polpa de pitanga congelada por 90 dias - ordem zero	77
Figura 3.6.	Atitude de compra dos provadores para o néctar de pitanga durante os tempos de estocagem avaliados (0, 30, 60 e 90 dias)	78
Figura 4.1.	Sistema de pasteurização tubular	89
Figura 4.2.	Gráfico dos efeitos significativos para a coordenada de cor a^* da polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica	94
Figura 4.3.	(a) Superfície de resposta quadrática e (b) curvas de nível para a variação da coordenada de cor a^* na polpa de pitanga pasteurizada termicamente	96
Figura 4.4.	Gráfico dos efeitos significativos para a coordenada de cor b^* da polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica	98
Figura 4.5.	(a) Superfície de resposta quadrática e (b) curvas de nível para a variação da coordenada de cor b^* na polpa de pitanga pasteurizada termicamente	100
Figura 4.6.	Gráfico dos efeitos significativos para a diferença total de cor (ΔE^*) da polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica	102
Figura 4.7.	(a) Superfície de resposta quadrática e (b) curvas de nível para a variação da diferença total de cor (ΔE^*) na polpa de pitanga pasteurizada termicamente	104
Figura 4.8.	Gráfico dos efeitos significativos para o decréscimo da atividade de PME da polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica	107

Figura 4.9.	(a) Superfície de resposta quadrática e (b) curvas de nível para o decréscimo da atividade de PME na polpa de pitanga pasteurizada termicamente	108
Figura 4.10.	Sobreposição das curvas de nível da coordenada de cor a^* e do decréscimo da atividade de PME	110
Figura 5.1.	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para a polpa de pitanga, em diferentes temperaturas	122
Figura 5.2.	Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação para a polpa de pitanga, em diferentes temperaturas	123
Figura 5.3.	Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de pitanga nas taxas de deformação de 100, 200 e 300s ⁻¹	126
Figura 6.1.	Varição do pH em função do tempo de estocagem a -18°C	143
Figura 6.2.	Varição da acidez total titulável em função do tempo de estocagem a -18°C	143
Figura 6.3.	Varição dos sólidos solúveis em função do tempo de estocagem a -18°C	143
Figura 6.4.	Varição dos açúcares redutores em função do tempo de estocagem a -18°C	144
Figura 6.5.	Varição dos açúcares totais em função do tempo de estocagem a -18°C	144
Figura 6.6.	Varição das antocianinas totais em função do tempo de estocagem a -18°C	146
Figura 7.1.	(a) Superfície de resposta e (b) curvas de nível para o atributo aparência global do néctar misto de acerola e pitanga	163
Figura 7.2.	(a) Superfície de resposta e (b) curvas de nível para o atributo aceitação global do néctar misto de acerola e pitanga	166
Figura 7.3.	Sobreposição das curvas de nível dos atributos aparência e aceitação global do néctar misto de acerola e pitanga	166
Figura 7.4.	Superfície de resposta e curvas de nível para a aceitação global do néctar misto pasteurizado	171

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1.	Composição média em 100g de polpa de pitanga	5
Tabela 1.2.	Composição média em 100g de polpa de acerola	8
Tabela 1.3.	Pigmentos naturais em frutas e vegetais	9
Tabela 1.4.	Principais antocianidinas encontradas nos alimentos	12
Tabela 1.5.	Importantes alterações nos alimentos que seguem cinéticas de zero ou primeira ordem	21
Tabela 2.1.	Porcentagens médias de polpa e semente dos frutos de pitanga <i>in natura</i>	49
Tabela 2.2.	Caracterização física, físico-química e química da polpa de pitanga padrão	50
Tabela 2.3.	Teores médios dos minerais da polpa de pitanga	52
Tabela 2.4.	Rendimento e quebra de sementes da polpa de pitanga extraída nos despoldadores de pás e escovas	52
Tabela 2.5.	Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) e diferença total de cor (ΔE^*) das polpas obtidas nos despoldadores de pás e escovas em relação à polpa padrão	53
Tabela 2.6.	Avaliação microbiológica das polpas de pitanga extraídas nos despoldadores de pás e escovas	55
Tabela 2.7.	Aceitação sensorial dos atributos aparência, aroma e sabor das amostras de polpa de pitanga extraídas nos despoldadores de pás e escovas (valores em notas).....	56
Tabela 2.8.	Caracterização física, físico-química e química da polpa de pitanga extraída no despoldador de escovas	56
Tabela 3.1.	Tipos de deterioração dos alimentos congelados	65
Tabela 3.2.	Caracterização física, físico-química e química da polpa de pitanga congelada durante estocagem	70
Tabela 3.3.	Sólidos totais da polpa de pitanga segundo duas diferentes metodologias de análise ..	71
Tabela 3.4.	Carotenóides totais da polpa de pitanga durante estocagem por 90 dias a -18°C	72
Tabela 3.5.	Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) e diferença total de cor (ΔE^*) em relação ao padrão (tempo 0) da polpa de pitanga durante estocagem por 90 dias a -18°C	74
Tabela 3.6.	Parâmetros cinéticos e estatísticos da variação de a^* na polpa de pitanga congelada .	76
Tabela 3.7.	Médias dos atributos cor, aroma e sabor do néctar de pitanga	77
Tabela 4.1.	Variáveis independentes e seus diferentes níveis	90
Tabela 4.2.	Planejamento experimental completo (2^2)	90
Tabela 4.3.	Média* e desvio-padrão das coordenadas de cor instrumental L^* , a^* e b^* e ΔE^* das polpas de pitanga não pasteurizada e pasteurizadas termicamente	91
Tabela 4.4.	Média* das coordenadas de cor instrumental a^* e b^* e ΔE^* da polpa de pitanga	92

Tabela 4.5.	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a coordenada de cor instrumental a*	92
Tabela 4.6.	Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a coordenada de cor instrumental a*	93
Tabela 4.7.	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação da coordenada de cor a* da polpa de pitanga pasteurizada termicamente	94
Tabela 4.8.	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a coordenada de cor instrumental b*	97
Tabela 4.9.	Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a coordenada de cor instrumental b*	97
Tabela 4.10.	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação da coordenada de cor b* da polpa de pitanga pasteurizada	98
Tabela 4.11.	Valores experimentais e preditos pelo modelo para a coordenada de cor b* da polpa de pitanga pasteurizada	99
Tabela 4.12.	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a diferença total de cor (ΔE^*)	101
Tabela 4.13.	Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a diferença total de cor (ΔE^*)	101
Tabela 4.14.	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação da diferença total de cor (ΔE^*) da polpa de pitanga pasteurizada termicamente	102
Tabela 4.15.	Valores experimentais e preditos pelo modelo para a coordenada de cor b* da polpa de pitanga pasteurizada	103
Tabela 4.16.	Média* e desvio-padrão da atividade de peroxidase (POD), pectinametilesterase (PME) e decréscimo da atividade enzimática da PME	105
Tabela 4.17.	Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o decréscimo da atividade da PME	107
Tabela 5.1.	Caracterização física e físico-química da polpa de pitanga	120
Tabela 5.2.	Viscosidade aparente da polpa de pitanga nas taxas de deformação de 100, 200 e 300s ⁻¹	123
Tabela 5.3.	Parâmetros reológicos e estatísticos para a polpa de pitanga	124
Tabela 5.4.	Parâmetros de Arrhenius e coeficiente de determinação para a polpa de pitanga submetida às taxas de deformação de 100, 200 e 300s ⁻¹	126
Tabela 6.1.	Caracterização física, físico-química e química da polpa de acerola padrão.....	139
Tabela 6.2.	Teores médios dos minerais da polpa de acerola	139
Tabela 6.3.	Rendimento e quebra de sementes da polpa de acerola extraída nos equipamentos de pás e escovas	140

Tabela 6.4.	Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) das polpas obtidas do processamento (despolpadores de pás e escovas) e diferença total de cor (ΔE^*) das polpas obtidas nos equipamentos de pás e escovas em relação ao padrão	141
Tabela 6.5.	Avaliação microbiológica das polpas de acerola extraídas nos equipamentos de pás e escovas	141
Tabela 6.6.	Aceitação sensorial dos atributos aparência, aroma e sabor das amostras de polpa de pitanga extraídas nos equipamentos de pás e escovas (valores em notas)	142
Tabela 6.7.	Caracterização física, físico-química e química da polpa de acerola congelada durante estocagem de 180 dias	142
Tabela 6.8.	Teor de ácido ascórbico na polpa de acerola durante estocagem por 180 dias a -18°C	144
Tabela 6.9.	Teor de antocianinas totais na polpa de acerola durante estocagem por 180 dias a -18°C	145
Tabela 6.10.	Análise de cor instrumental da polpa de acerola congelada durante estocagem de 180 dias a -18°C	147
Tabela 6.11.	Análise sensorial da polpa de acerola congelada durante estocagem de 180 dias a -18°C	148
Tabela 7.1.	Planejamento experimental completo (2^2)	157
Tabela 7.2.	Variáveis independentes e seus diferentes níveis do planejamento experimental de formulação de néctares mistos de acerola e pitanga	158
Tabela 7.3.	Porcentagens de polpa de acerola e pitanga correspondentes a um total de 50% de polpa para formulação dos néctares mistos	158
Tabela 7.4.	Variáveis independentes e seus diferentes níveis no processo de pasteurização térmica	159
Tabela 7.5.	Caracterização física e físico-química das polpas de acerola e pitanga	160
Tabela 7.6.	Planejamento experimental da formulação de néctar misto com as respostas.....	161
Tabela 7.7.	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o atributo aparência global do néctar misto	161
Tabela 7.8.	Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o atributo aparência global do néctar misto	162
Tabela 7.9.	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o atributo aparência global do néctar misto	162
Tabela 7.10.	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o atributo aceitação global do néctar misto	164
Tabela 7.11.	Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o atributo aceitação global do néctar misto	164
Tabela 7.12.	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o atributo aceitação global do néctar misto	165

Tabela 7.13.	Planejamento experimental da pasteurização térmica do néctar misto com as respostas	168
Tabela 7.14.	Planejamento experimental da pasteurização térmica do néctar misto com os valores médios da aceitação global	169
Tabela 7.15.	Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a aceitação global do néctar misto pasteurizado	169
Tabela 7.16.	Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a aceitação global do néctar misto pasteurizado	170
Tabela 7.17.	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a aceitação global do néctar misto pasteurizado	170

ÍNDICE DE NOMENCLATURA

L*	Coordenada de luminosidade do sistema CIELAB	adimensional
a*	Coordenada de cromaticidade do sistema CIELAB	adimensional
b*	Coordenada de cromaticidade do sistema CIELAB	adimensional
ΔE^*	Diferença total de cor	adimensional
F	Força	N
A	Área	m ²
τ	Tensão de cisalhamento	N/m ² ou Pa
η	Viscosidade absoluta ou dinâmica	Pa.s
$\dot{\gamma}$	Taxa de deformação	s ⁻¹
η_a	Viscosidade aparente	Pa.s
τ_o	Tensão inicial de cisalhamento	N/m ² ou Pa
K	Índice de consistência	Pa.s ⁿ
n	Índice de comportamento	adimensional
$E_{at,\eta}$	Energia de ativação para escoamento viscoso	kcal.gmol ⁻¹
t	Tempo de processo	s
T	Temperatura de processo	°C
P	Desvio relativo médio	%
R ²	Coefficiente de determinação	%
k	Constante da reação	dia ⁻¹
T ^{1/2}	Tempo de meia vida	dia

RESUMO GERAL

A pitanga (*Eugenia uniflora* L.) é um fruto nativo das regiões Sul e Sudeste do Brasil, e muito pouco investigado cientificamente. Graças às suas qualidades vitamínicas e sensoriais, a pitanga foi o principal objeto de estudo deste trabalho de tese. A acerola, excelente fonte de vitamina C, também foi abordada neste trabalho. O estudo da acerola consistiu basicamente na avaliação da polpa como matéria-prima para a indústria de néctares mistos, objetivando o enriquecimento em vitamina C do néctar de pitanga. Em relação aos processos tecnológicos aplicados às polpas e néctares, foram estudados os processos de extração de polpa e os métodos de conservação tradicionais: congelamento e pasteurização térmica. Como consequência lógica, também foi avaliada a estabilidade dos produtos processados com o intuito de determinar a ocorrência de alterações físicas, físico-químicas e sensoriais. O estudo do processo de extração de polpa (Capítulo 2) foi realizado em dois diferentes tipos de despulpadores: despulpador de escovas inclinado e despulpador de pás horizontal. Para os frutos de pitanga, os equipamentos de escovas e pás apresentaram rendimentos de polpa de $58,47 \pm 3,92\%$ e $46,61 \pm 1,80\%$, respectivamente. A polpa obtida no despulpador de pás apresentou uma diferença total de cor (ΔE^*) em relação aos parâmetros de cor L^* , a^* e b^* dos frutos *in natura*, significativamente superior ($p \leq 0,05$) a polpa processada no despulpador de escovas. Por isso, o despulpador de escovas se mostrou mais eficiente que o despulpador de pás para obtenção de polpa de pitanga, devido ao maior rendimento e menor ΔE^* . No estudo de estabilidade da polpa de pitanga preservada por congelamento (Capítulo 3) durante 90 dias, os resultados obtidos mostraram que a reação cinética da degradação dos parâmetros de cor a^* e diferença total de cor (ΔE^*) se ajustaram aos modelos cinéticos de 1ª ordem e zero ordem, respectivamente. Ao mesmo tempo, houve uma forte queda na aceitabilidade sensorial e na atitude positiva de compra do néctar formulado com a polpa de pitanga armazenada por 90 dias a -18°C , devido às significativas mudanças na qualidade física do néctar formulado com a polpa de pitanga congelada. No estudo de pasteurização térmica da polpa de pitanga (Capítulo 4) foi empregado um planejamento composto central (2^2), onde as variáveis independentes foram os parâmetros tempo e temperatura de processamento, e as variáveis dependentes foram cor instrumental (a^* , b^* e ΔE^*) e atividade enzimática. O binômio tempo-temperatura de pasteurização térmica mais adequado para a conservação da polpa de pitanga foi de 59 a 68s a 90°C , considerando as mínimas alterações de cor instrumental e a inativação das enzimas presentes. O estudo do comportamento reológico da polpa de pitanga (Capítulo 5) na faixa de temperatura de pasteurização de 83 a 97°C determinou que a polpa de pitanga apresentou comportamento pseudoplástico e o modelo de Herschel-Bulkley foi considerado o mais adequado. Os índices de comportamento de fluido (n), variaram na faixa de 0,448 a 0,627. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente pôde ser descrito pela equação análoga à de Arrhenius, observando-se a diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. A energia de ativação do escoamento viscoso da polpa de pitanga, para a taxa de deformação de 100s^{-1} , foi de $2,947 \text{ Kcal.gmol}^{-1}$. No estudo de avaliação dos processos de despulpamento e estabilidade da polpa de acerola (Capítulo 6) preservada por congelamento durante 180 dias, foi determinado que o despulpador mais adequado para a extração da polpa de acerola foi o extrator de escovas, pois apresentou um maior rendimento (62,83%) e menor alteração da cor instrumental. No estudo de estabilidade da polpa de acerola, obtida no extrator de escovas, foi verificado que a mesma apresentou ótima estabilidade física, físico-química e sensorial até o final do experimento, exceto para o parâmetro de cor instrumental ΔE^* (diferença total de cor), que variou significativamente ($p \leq 0,05$) durante o

período de estocagem da polpa de acerola. Paralelamente, foi observado um decréscimo significativo estatisticamente ($p \leq 0,05$) no teor de antocianinas totais (16,23%). De acordo com a análise sensorial do atributo cor, a variação no teor de antocianinas totais não comprometeu significativamente ($p > 0,05$) a aceitabilidade da polpa de acerola estocada por 180 dias a -18°C . No estudo de formulação e pasteurização térmica de néctar misto através da metodologia de superfície de resposta (Capítulo 7), foi verificada a maior aceitabilidade das formulações com maiores proporções de polpa de pitanga (26,4% a 32,9%). Na etapa de pasteurização do néctar misto foi determinada que na faixa de tempo entre 39s a 60s em temperaturas que variam de 83°C a 85°C , os néctares mistos pasteurizados de acerola e pitanga apresentaram as menores alterações sensoriais, e conseqüentemente maior a aceitabilidade.

GENERAL SUMMARY

Pitanga (*Eugenia uniflora* L.) is a native fruit of the southern and south-eastern regions of Brazil, little studied scientifically. Pitanga was the main objective of this thesis due to its vitamin content and sensory qualities. West Indian cherry, an excellent vitamin C source, was also included in the study. The research on West Indian cherry was basically the evaluation of its pulp as a raw material for the mixed nectar industry, aiming to enrich the pitanga nectar with respect to vitamin C. The technological processes applied to the pulps were the extraction processes and the traditional methods of preservation: freezing and heat pasteurisation. As a logical sequence, the stability of the processed pulps was also evaluated, checking for physical, physicochemical and sensory alterations. The extraction process (Chapter 2) was carried out with two types of pulper: an inclined brush pulper and a horizontal blade pulper. For pitanga, the brush and blade pulpers gave pulp yields of $58.47 \pm 3.92\%$ and $46.61 \pm 1.80\%$ respectively and the pulp obtained using the blade pulper presented a significantly greater ($p \leq 0.05$) total difference in colour (ΔE^*) with respect to the colour parameters L^* , a^* and b^* as compared to the *in nature* fruits, than that obtained using the brush pulper. Thus the brush pulper was shown to be more efficient due to a greater yield and smaller ΔE^* . The study of pitanga pulp stability during 90 days of frozen storage (Chapter 3) showed that the degradation kinetics of the parameters a^* and ΔE^* fitted the 1st and zero order kinetic models respectively. At the same time there was a distinct loss in sensory acceptance and in the positive attitude to buying the nectar formulated with the pitanga pulp stored for 90 days at -18°C , due to significant changes in the nectar formulated with this pulp. A 2² central composite experimental design was used in the study of the heat pasteurisation of pitanga pulp (Chapter 4), the independent variables being the process parameters of time and temperature and the dependent variables, the instrumental colour (a^* , b^* and ΔE^*) and enzyme activity. The most adequate time-temperature binomial for the preservation of pitanga pulp by heat pasteurisation was from 59 to 68s at 90°C , when considering minimal alterations in instrumental colour and inactivation of the enzymes. A study of the rheological behaviour of the pitanga pulp (Chapter 5) in the pasteurisation temperature range (83 to 97°C) showed that it presented pseudoplastic behaviour, adjusting best to the Herschel-Bulkley model. The fluid behaviour index (η) varied from 0.448 to 0.627. The effect of temperature on the apparent viscosity could be described by the Arrhenius analogical equation, the apparent viscosity decreasing with increase in temperature. The activation energy for viscous flow of the pitanga pulp was $1.947 \text{ Kcal.gmol}^{-1}$ for a deformation rate of 100s^{-1} . In the study on extraction procedures and stability of West Indian cherry pulp (Chapter 6) stored frozen for 180 days, the brush pulper was shown to be more adequate, giving a higher yield (62.83%) and lower alteration in instrumental colour. The West Indian cherry pulp extracted with the brush pulper showed excellent physical, physicochemical and sensory stability up to the end of the experiment, with the exception of the parameter ΔE^* , which varied significantly during frozen storage. In parallel, a statistically significant ($p \leq 0.05$) decrease in total anthocyanins was observed. According to the sensory analysis of the attribute colour, the variation in anthocyanin content did not significantly compromise the acceptability of the West Indian cherry pulp after 180 days of storage at -18°C . In the study on the formulation and heat pasteurisation of the mixed nectar using response surface methodology (Chapter 7), a greater acceptance of the formulations containing higher proportions of pitanga pulp (26.4% and 32.9%) was observed. With respect to heat pasteurisation, temperatures between 83 and 85°C for 39 to 60s presented the smallest sensory alterations and consequently the greatest acceptability of the mixed pitanga and West Indian cherry nectars.

INTRODUÇÃO GERAL

A conscientização do consumidor quanto à importância de uma dieta a base de frutas, o seu valor nutricional, a imensa riqueza de aromas e sabores de frutas tropicais e a tendência cada vez maior de se consumir alimentos processados com as características sensoriais do alimento *in natura* têm contribuído para o aumento do consumo de polpas de frutas tropicais e seus derivados. A polpa de fruta pode ser utilizada para consumo direto ou como matéria-prima nas indústrias de sucos, geléias, néctares, sorvetes, iogurtes, produtos de confeitaria, entre outros.

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de inúmeras espécies de frutas, e apresenta uma grande quantidade de espécies ainda não aproveitadas em todo seu potencial. Dentre essas frutas podemos destacar a pitanga.

A pitanga (*Eugenia uniflora* L.) é um fruto tropical nativo das regiões Sul e Sudeste do Brasil, mas que vem sendo cultivado racionalmente na região Nordeste. Seu nome é proveniente da língua tupi, que quer dizer vermelho-rubro. Esse fruto, bastante apreciado devido ao seu sabor agradável e refrescante, é uma baga de aproximadamente 30 mm de diâmetro, com 8 a 10 sulcos longitudinais, e achatada nas extremidades. Originária do Brasil, a pitanga encontra-se por toda parte, país afora, espalhando-se desde o Nordeste até o Rio Grande do Sul, ultrapassando fronteiras para chegar até algumas regiões do Uruguai e da Argentina.

As pitangas, quando maduras, são facilmente vulneráveis à depreciação e de difícil conservação e armazenamento, dificultando sua comercialização. Por isso, estabelecer o beneficiamento industrial de sua polpa e sua aplicação na produção de diversos produtos proporciona a difusão do consumo dessa fruta.

A acerola (*Malpighia glabra* L.) é uma fruta tropical originária da América Central, que possui um grande apelo nutricional devido o seu elevado teor de ácido ascórbico. Na indústria alimentícia, o suco de acerola tem sido utilizado para enriquecer os sucos e néctares de outras frutas com menor teor de ácido ascórbico.

O presente trabalho teve por objetivo estudar dois frutos: a pitanga e a acerola. Para a pitanga foram avaliados, de forma geral, os processos de extração e pasteurização de polpa, bem como, a estabilidade da polpa congelada. Além disso, foi determinado o comportamento reológico da polpa, considerando a faixa de temperatura empregada na pasteurização térmica. A acerola foi incluída visando o enriquecimento do néctar de pitanga, especialmente em vitamina C. Desta forma, foram estudados os processos de extração e estabilidade da polpa congelada de acerola, pois são parâmetros importantes para a avaliação da qualidade da polpa antes da formulação do néctar misto. Finalmente, foi aplicada a metodologia de superfície de resposta para avaliar a formulação do néctar misto de pitanga e acerola, e o processo de pasteurização térmica deste produto.

Neste trabalho foi dada maior ênfase à pitanga, devido à grande escassez de dados na literatura sobre seu processamento tecnológico e conseqüências. Ao mesmo tempo, foram necessários os estudos dos processos de extração e de estabilidade da polpa de acerola, objetivando uma base mais sólida do conhecimento desta matéria-prima para elaboração do néctar misto.

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. IMPORTÂNCIA DAS FRUTAS NA ALIMENTAÇÃO HUMANA

As frutas, por conterem uma variedade de vitaminas e minerais essenciais, sempre foram consideradas como alimentos reguladores do metabolismo. Do ponto de vista das propriedades funcionais fisiológicas, esses alimentos têm sido altamente recomendados pela sua riqueza em vitamina C, carotenóides, substâncias fenólicas, substâncias sulfuradas, glicosídeos indólicos, fruto-oligossacarídeos, dentre muitos outros (SGARBIERI; PACHECO, 1999).

Recomendações dietéticas para uma alimentação saudável incluem o consumo de sucos de frutas, em parte, pela presença de vitamina C, um eficiente antioxidante natural que reduz a velocidade de iniciação ou previne a propagação de radicais livres (KITTS, 1997; GARDNER et al. 2000), além de compostos fenólicos e carotenóides, que também apresentam potencial antioxidante (GARDNER et al. 2000). De acordo com Halliwell (1996), a vitamina C possui alta disponibilidade biológica e, portanto, é o mais importante antioxidante hidrossolúvel nas células, absorvendo eficientemente espécies reativas como O_2^- , OH, radicais peroxila e oxigênio singlete.

O consumo de frutas e verduras com alto teor de carotenóides tem apresentado relação inversa com o risco de desenvolvimento de câncer (ZIEGLER, 1991; NGUYEN; SCHWARTZ, 1999).

Pigmentos, como o licopeno e o β -caroteno, por exemplo, funcionam como antioxidantes naturais e têm capacidade de proteger membranas, DNA e outros constituintes celulares contra danos oxidativos (KRINSKY, 1989; SANTAMARIA; BIANCHI, 1989; KRINSKY, 1991).

2. PITANGA

A pitanga (*Eugenia uniflora* L.) é um fruto tropical, pertencente à família das Mirtáceas. É nativa do Brasil, especificamente das regiões Sul e Sudeste, e tem sido cultivada em outras regiões tropicais e subtropicais do mundo (GOMES, 1975; LEDERMAN; BEZERRA; CALADO, 1992).

Na Espanha é chamada de “cereza de Cayene”, na Venezuela de “pedanga”, em El Salvador de “guinda”, na Argentina de “ñangapiri”, na Colômbia de “cereza cuadrada”, no Brasil apresenta outro sinônimo, ginja (MORTON, 1987; VILLACHICA, 1996).

O fruto é uma baga globosa (Figura 1.1), com sete a dez sulcos longitudinais de 1,5-5,0cm de diâmetro, corado com sépalas persistentes que possui aroma característico intenso e sabor doce e ácido. No processo de maturação, o epicarpo passa de verde para amarelo, alaranjado, vermelho, vermelho-escuro, podendo chegar até quase negro (BEZERRA; SILVA JR.; LEDERMAN, 2000).

No Brasil, não se conhecem variedades perfeitamente definidas de pitangueiras, e é comum encontrar frutos de coloração que variam desde o alaranjado, vermelho escuro até o roxo (LEDERMAN; BEZERRA; CALADO, 1992; LIMA; MÉLO; LIMA, 2002).

O fruto da pitangueira apresenta, em média, cerca de 69% de polpa e 31% de sementes (GUIMARÃES et al., 1982; VILLACHICA, 1996). A polpa, de coloração vermelha, é succulenta, macia, agri-doce e aromática (VILLACHICA, 1996).

Dentre os frutos existentes na natureza a pitanga está entre os que possuem maior teor de carotenóides (225,9 µg/g) e um valor significativo de vitamina A (991 ER/100g). Os carotenóides da pitanga são o fitoflueno, β-caroteno, ζ-caroteno, β-criptoxantina, γ-caroteno, licopeno, rubixantina e um outro não identificado, e o licopeno é o principal carotenóide da pitanga representando 32% dos carotenóides totais (CAVALCANTE, 1991).

Dentre os compostos fenólicos, a polpa de pitanga de coloração roxa apresenta teor de antocianinas e flavonóis totais de 22,50mg/100g e 13,93mg/100g, respectivamente (LIMA et al., 2000).



Figura 1.1. Frutos de pitanga em vários estádios de maturação.

Tabela 1.1. Composição média em 100g de polpa de pitanga.

Componente	Teor¹	Teor²
Umidade (g)	89,0	85,8
Proteínas (g)	0,92	0,8
Lipídios (g)	0,06	0,4
Carboidratos (g)	9,2	12,5
Fibra (g)	0,43	0,6
Cinzas (g)	0,32	0,5
Cálcio (mg)	9,62	9,0
Fósforo (mg)	14,72	11,0
Ferro (mg)	0,12	0,2
Vitamina A (atividade)	-	635
Tiamina (mg)	-	0,3
Riboflavina (mg)	-	0,6
Niacina (mg)	-	0,3
Ácido ascórbico (mg)	29,4	14,0

¹ Guimarães et al., 1982.

² Villachica, 1996.

3. ACEROLA

A acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), pertencente à família Malpighiaceae, é originária da América Central e foi introduzida no Brasil na década de 50. É uma pequena fruta de cor vermelha, laranja ou roxa, que apresenta peso médio variando entre 2 a 10g e contém elevado teor de ácido ascórbico, variando de 1.000 até 4.000 mg/100g, em média (BAILEY; BAILEY, 1976; OLIVA, 1995; MATTA, 1999).

De acordo com Alves (1999), o nome científico mais utilizado para designar a aceroleira tem sido *Malpighia glabra* L., e o principal sinônimo *Malpighia puniceiflora* L., no entanto, recentes estudos concluíram que esses dois nomes são realmente sinônimos e se aplicam a uma espécie diferente, sendo *Malpighia emarginata* D.C. a denominação correta para a aceroleira.

Diversos são os trabalhos encontrados na literatura enfocando os elevados teores de ácido ascórbico na acerola: seleção de plantas (ARÓSTEGUI et al., 1955; MOURA et al., 1997), método de extração (SANTINI JR.; NEVAREZ, 1955), estabilidade da polpa ou suco (FITTING; MILLER, 1960; ROCHA, 1988; MATSUURA, 1994; OLIVA, 1995; SILVA, 1999), desenvolvimento de refrigerantes a partir do suco desidratado (BARNABÉ; VENTURINI FILHO, 2004), entre outros.

O teor de vitamina C e outras características atribuídas à qualidade da acerola, tais como coloração, peso e tamanho dos frutos, teor de sólidos solúveis totais e pH do suco, além de serem afetadas pela variabilidade genética dos pomares, sofrem influência de vários outros fatores, como precipitações pluviais, temperatura, altitude, adubação, irrigação e a ocorrência de pragas e doenças (NOGUEIRA et al. 2002).

Os teores de vitamina C encontrados na acerola podem variar de 695 a 4.827 mg/100 g (ASENJO; GUZMAN, 1946; SINGH-DHALIWAL; TORRES-SEPÚLVEDA, 1962; MEDEIROS, 1969; FONSECA; NOGUEIRA; LEME JÚNIOR, 1972; SANTOS et al., 1999; GOMES et al., 2000).

O termo vitamina C refere-se ao ácido L-ascórbico (AA), e ao seu produto de oxidação inicial, o ácido L-dehidroascórbico (DHAA), pois ambos apresentam atividade vitamínica. Itoo, Aiba e Ishihata (1990) relatam que a proporção de ácido ascórbico na acerola é de 90%, em relação ao teor de vitamina C total, ocorrendo uma diminuição da proporção desse ácido em frutos com maior grau de maturação.

Aldrigue (1998) quantificou o ácido dehidroascórbico (DHAA) na acerola em função do estágio de maturação, e verificou variação de 2 a 20% do total de vitamina C, tendo seus níveis mais elevados em frutos com grau de maturação intermediário, ou “de vez”.

De acordo com Cerezal-Mezquita e García-Vigoa (2000), a acerola, além de ser reconhecida pelo teor em vitamina C, é também uma excelente fonte de bioflavonóides, proporcionando uma elevada atividade antioxidante.

A cor vermelha da acerola, no estágio maduro, decorre da presença de antocianinas (ASENJO, 1978; SILVA, 1999). Silva (1999) cita que as principais antocianidinas presentes na acerola são a malvidina, pelargonidina e cianidina. Paiva et al. (1999) relatam que em diferentes seleções de acerola os teores de antocianinas totais variaram de 1,97mg/100g a 46,44mg/100g.

Além das antocianinas, também foi identificada na acerola outra classe de pigmentos, os carotenóides. Cavalcante (1991) determinou os carotenóides presentes na acerola em frutos provenientes de três estados do Brasil: Pernambuco, Ceará e São Paulo, e verificou que os frutos produzidos em Pernambuco e Ceará apresentaram teores de β -caroteno entre 5 a 6 vezes maiores que os cultivados em São Paulo. Os carotenóides detectados na acerola foram o fitoflueno, α -caroteno, β -caroteno e β -criptoxantina. O β -caroteno é o principal carotenóide da acerola, ultrapassando 90% do teor de carotenóides totais.



Figura 1.2. Fruto de acerola maduro.

Tabela 1.2. Composição média em 100g da polpa de acerola.

Componente	Valor¹	Valor²
Umidade (g)	90,3	89,82
Proteínas (g)	0,4	1,27
Lipídios (g)	0,4	0,21
Carboidratos (g)	8,7	8,25
Fibra (g)	0,4	Traços
Cinzas (g)	0,2	0,46
Taninos (g de ácido tânico)	-	1,34
Pectina (g de pectato de cálcio)	-	1,14
Amido (g)	-	2,76
Cálcio (mg)	12	-
Fósforo (mg)	11	-
Ferro (mg)	0,2	-
Tiamina (mg)	0,03	-
Riboflavina (mg)	0,05	-
Niacina (mg)	0,6	-
Ácido ascórbico (mg)	1790	1620

¹ Cerezal-Mezquita e García-Vigoa, 2000.

² Soares et al., 2001.

4. VITAMINA C

O teor de vitamina C é avaliado através da dosagem dos ácidos L-ascórbico e L-dehidroascórbico, pois esse último apresenta entre 60 a 100% da atividade biológica do primeiro (ROJAS; GERSCHENSON, 1997; SRIVASTAVA; SING, 1988; LEE; KADER, 2000).

A oxidação da vitamina C, especialmente em solução aquosa, é favorecida por diversos fatores, tais como a presença de oxigênio, íons metálicos (Cu^{2+} , Ag^+ e Fe^{3+}), luz, pH alcalino e temperaturas elevadas, e dentre estes, a presença de oxigênio é o fator que mais influencia a degradação da vitamina C (NAGY, 1980).

A degradação oxidativa da vitamina C ocorre tanto em condições anaeróbias quanto aeróbias. O primeiro caso é caracterizado pela oxidação do ácido ascórbico sendo formado o ácido dehidroascórbico, que então é irreversivelmente convertido a ácido 2,3-dicetogulônico, um composto sem atividade vitamínica. Posteriormente, o ácido 2,3-dicetogulônico tende a sofrer descarboxilação, e essa reação promove a formação de furfural e CO_2 . Em condições aeróbicas, a oxidação da vitamina C também leva formação de furaldeídos, que facilmente sofrem polimerização, produzindo pigmentos escuros (TANNEMBAUM, 1976; LEE; KADER, 2000).

Algumas enzimas presentes nas frutas, como a ácido ascórbico oxidase, citocromo oxidase e peroxidase, também provocam a oxidação da vitamina C. Para o controle dessas reações oxidativas são necessários certos processos, como: tratamento térmico adequado para a completa inativação das enzimas presentes, remoção de oxigênio ou desaeração e o uso de inibidores químicos e antioxidantes (NAGY, 1980; SILVA, 1999).

5. PIGMENTOS NATURAIS EM FRUTAS

A cor natural da maioria das frutas e vegetais é proporcionada pela presença de clorofilas, antocianinas, carotenóides e betalaínas (Tabela 1.3), e tais pigmentos são muito susceptíveis à oxidação e outras alterações que resultam em mudanças de coloração.

Tabela 1.3. Pigmentos naturais em frutas e vegetais.

Pigmentos	Cor	Solubilidade
Clorofilas ¹	Verde-amarelado, verde-azulado	Lipossolúvel
Carotenóides ¹	Vermelho, alaranjado, amarelo	Lipossolúvel
Antocianinas ¹	Vermelho, alaranjado, violeta, azul	Hidrossolúvel
Betalaínas ²	Vermelho	Hidrossolúvel

Fonte: ¹Gross, 1987; ²Iaderoza e Draetta, 1991.

5.1. CAROTENÓIDES

Os carotenóides são pigmentos naturais amplamente distribuídos nos alimentos vegetais, sendo o β -caroteno o mais comumente encontrado. Estes compostos apresentam estrutura com alto grau de insaturação e, portanto, mais susceptíveis à oxidação e a degradação oxidativa (FERREIRA, 2001).

Os carotenóides são divididos em dois grupos: os hidrocarbonetos e os derivados oxigenados. Os compostos pertencentes ao primeiro grupo são conhecidos como carotenos, e os do segundo grupo denominados xantofilas. Na natureza a configuração *trans*, de maior estabilidade, é a mais encontrada (CAVALCANTE, 1991).

A degradação dos *trans*-carotenóides ocorre através de complexos mecanismos de reação como a isomerização através da qual formam-se os *cis*-carotenóides. Através dos processos de oxidação enzimática ou não-enzimática são formados produtos iniciais como os epoxicarotenóides e apocarotenóides, que por meio de sucessivas fragmentações produzem compostos de baixa massa molecular (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999).

A maior razão de perda dos carotenóides é a oxidação e muitos fatores, tais como exposição à luz e ao oxigênio, tipo de matriz alimentícia, presença de enzimas, disponibilidade de água e presença de antioxidantes e/ou pró-oxidantes podem influenciar o processo oxidativo (GOLDMAN; HOREV; SAGUY, 1983; BURTON, 1989).

O processamento e a estocagem dos alimentos podem alterar significativamente a composição qualitativa e quantitativa dos carotenóides (GOLDMAN; HOREV; SAGUY, 1983; CAVALCANTE, 1991).

A retenção dos carotenóides pró-vitâmicos durante a estocagem de alimentos processados é favorecida pela baixa temperatura, proteção da luz, exclusão do oxigênio (por vácuo, enchimento à quente, atmosfera modificada ou embalagem impermeável ao oxigênio) e antioxidantes, presentes naturalmente ou adicionados como meio de preservação do alimento (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997).

5.2. ANTOCIANINAS

As antocianinas são pigmentos naturais pertencentes ao grupo dos flavonóides, amplamente disseminados na natureza. Como todos os outros flavonóides, as antocianinas possuem um esqueleto básico do tipo $C_3C_6C_3$, mas diferem dos demais por apresentarem coloração intensa, maior grau de oxidação e por serem glicosiladas. São responsáveis por inúmeras cores em plantas, como: laranja, vermelho, azul e violeta (HARBONE, 1967; FRANCIS, 2000).

A molécula de antocianina contém o íon flavilium ou 2-fenilbenzopirilium e um açúcar e pode conter um ácido alifático ou aromático. A antocianina, após a perda de um açúcar por hidrólise ácida, é chamada de antocianidina ou aglicona (OLIVEIRA, 2001).

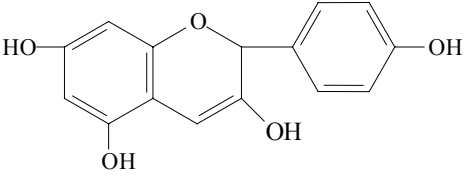
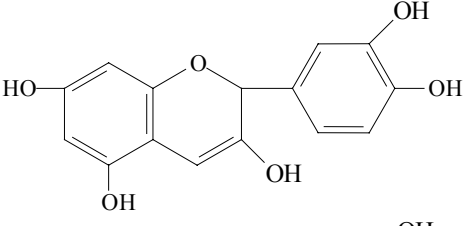
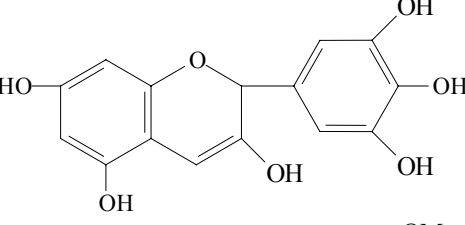
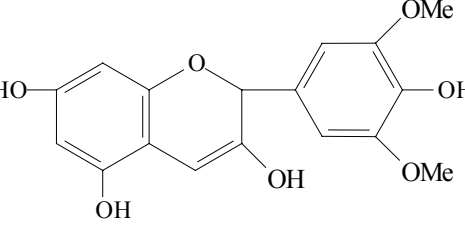
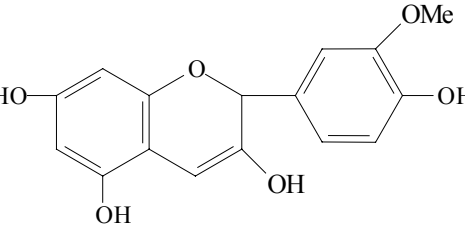
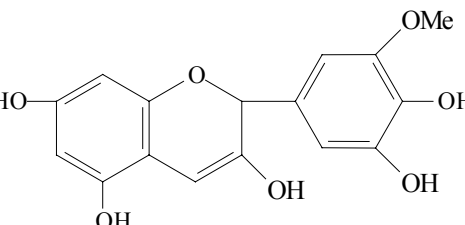
Vinte e duas agliconas são conhecidas, das quais 18 são encontradas na natureza, mas somente seis (pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina e malvidina) (Tabela 1.4) são importantes nos alimentos. Raramente agliconas livres ocorrem em plantas, pois estas quase sempre estão combinadas com açúcares que proporcionam maior estabilidade à molécula (FRANCIS, 1982; MAZZA; MINIATI, 1993; FRANCIS, 2000).

As antocianinas, pigmentos muito instáveis, podem ser degradadas no próprio tecido ou durante o processamento e a estocagem do alimento. Os principais fatores que influenciam a estabilidade destes compostos são: estrutura química, temperatura, atividade de água, pH, oxigênio, luz e presença de íons metálicos (FRANCIS, 1982; SILVA, 1999).

De acordo com Stringheta (1991) e Wesche-Ebeling et al. (1996) as variações de pH e incidência de luz são os fatores que mais contribuem para a degradação da cor das antocianinas, sendo maximizada pela associação destes fatores com o oxigênio.

Outro importante fator relacionado à degradação das antocianinas é a interação destes pigmentos com o ácido ascórbico, causando a perda da cor e formação de pigmentos marrons (CONCEIÇÃO, 1997).

Tabela 1.4. Principais antocianidinas encontradas nos alimentos.

Estrutura	Nome	Cor
	Pelargonidina	Laranja
	Cianidina	Vermelho alaranjado
	Delfinidina	Vermelho azulado
	Malvidina	Vermelho azulado
	Peonidina	Vermelho alaranjado
	Petunidina	Vermelho azulada

Fonte: Francis, 1982; Mazza; Miniati, 1993

5.3. COR INSTRUMENTAL

A cor pode ser definida como a sensação experimentada por indivíduo quando a energia da luz correspondente ao espectro visível atinge a retina do olho. A região do espectro eletromagnético sensível ao olho humano está na faixa de comprimento de onda (λ) entre 390nm a 750nm (FRANCIS; CLYDESDALE, 1975).

As cores referentes à faixa visível do espectro podem ser descritas subjetivamente, como por exemplo “vermelho”, e objetivamente, segundo o seu comprimento de onda. As cores vermelho, amarelo, verde e violeta, apresentam comprimentos de onda situados ao redor de 680nm, 575nm, 520nm e 450nm, respectivamente (FERREIRA, 1991).

Com o objetivo de normalizar a medição da cor, em 1931 a CIE (Commission Internationale de l’Eclairage) adotou os seguintes métodos para medição e especificação de cor: uso de fontes de luz-padrão definidas pela CIE, condições exatas para observação ou medição da cor, uso de unidades matemáticas apropriadas para expressar a cor e definição do observador-padrão (JIMÉNEZ; GUTIÉRREZ, 2001).

A medida da cor pode ser realizada através de espectrofotômetro, colorímetros triestímulos e colorímetros visuais. O espectrofotômetro é um instrumento que fornece a análise espectral das propriedades de reflectância e/ou transmitância de um objeto a cada comprimento de onda, e pode calcular indiretamente as informações psicofísicas (colorimetria). O colorímetro triestímulo é um instrumento que proporciona medições correlatas à percepção do olho humano através dos valores triestímulos (XYZ, L a b, etc). Os colorímetros visuais são de dois tipos: aditivos e subtrativos. Os colorímetros visuais aditivos baseiam-se na adição das três cores primárias (vermelho, verde e azul) para formar quaisquer cores; enquanto, os colorímetros visuais subtrativos envolvem a remoção de partes do espectro visível através de filtros com as cores primárias (HUNTER; HAROLD, 1981).

Em 1976, a CIE recomendou o uso da escala de cor CIE $L^*a^*b^*$, ou CIELAB (Figura 1.3). O máximo valor de L^* (luminosidade) é 100, e representa uma perfeita reflexão difusa, enquanto que o valor mínimo é zero e constitui o preto. Os eixos a^* e b^* não apresentam limites numéricos específicos. A coordenada a^* varia do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), e a coordenada b^* do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$). Os valores delta (ΔL^* , Δa^* e Δb^*) indicam o quanto a amostra diferiu do padrão para L^* , a^* e b^* , e são freqüentemente utilizados no controle de qualidade e ajustes de formulação, além de serem utilizados para o cálculo da diferença total de cor (ΔE^*) (HUNTERLAB, 1996).

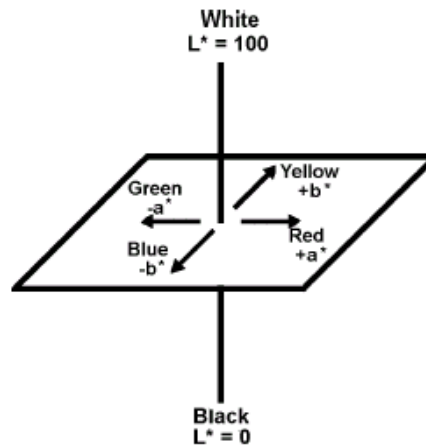


Figura 1.3. Espaço de cor CIELAB (HUNTERLAB, 1996).

6. PROCESSAMENTO DE POLPA E NÉCTAR DE FRUTA

Segundo Tocchini, Nisida e De Martin (1995), os métodos para a fabricação de polpa (Figura 1.4) baseiam-se, principalmente, nos processos finais de conservação do produto. Desta forma, vários processos podem ser utilizados na preservação de polpa de frutas, tais como:

- processo de enchimento a quente (*hot filling*);
- processo asséptico;
- congelamento;
- conservação por meio de aditivo químico.

Os processos de lavagem requerem grande atenção em relação ao estado sanitário da água e dos equipamentos, assim como a eliminação da água utilizada e os cuidados posteriores com o produto lavado (SOLER; RADOMILLE; TOCCHINI, 1991). A lavagem das frutas é normalmente realizada em lavador mecânico, que conjuga um banho de imersão para a remoção das impurezas mais grosseiras, e um sistema de aspersão (TOCCHINI; NISIDA; DE MARTIN, 1995).

A lavagem em água corrente de boa qualidade pode reduzir em até 90% a carga microbiana dos vegetais (LEITÃO et al., 1981; FRANK; TAKEUSHI, 1999), porém, não é suficiente para manter a contaminação em níveis seguros, sendo essencial a aplicação da etapa de desinfecção com agentes antimicrobianos reconhecidos como GRAS (*generally recognized as safe*).

O cloro, principalmente o hipoclorito de sódio, é atualmente o composto mais utilizado para esse fim; porém, outros agentes como o ácido acético e o ácido peracético começam a despertar cada vez mais o interesse das empresas, em função das controvérsias sobre a toxicidade do cloro em alimentos (BEUCHAT et al., 1998).

O despulpamento é a etapa usada para separar da polpa materiais fibrosos, sementes, cascas, etc., e também para reduzir o tamanho das partículas do produto, tornando-o mais homogêneo.

Os principais tipos de despulpadores são:

- despulpador horizontal: consiste de um eixo horizontal ao qual estão ligados braços, que podem ser de aço inoxidável, borracha ou escovas de náilon. Neste equipamento, enquanto a polpa passa através de peneiras, o material descartado é separado por uma abertura longitudinal localizada ao longo do eixo horizontal;
- despulpador horizontal de rosca: consiste de uma rosca sem fim, com o passo da rosca maior na alimentação diminuindo em direção à saída do produto. Possui peneiras com diversos diâmetros de furos e o grau de refinação é regulado pela pressão de saída do descarte;
- despulpador inclinado com braços de escovas: onde as frutas são friccionadas por meio de escovas contra peneiras (SOLER; RADOMILLE; TOCCHINI, 1991).

É muito comum conjugar-se dois ou três tipos de equipamentos ou usar equipamentos iguais acoplados em série, com peneiras de diferentes diâmetros de furos. O produto entra triturado ou não no primeiro despulpador equipado com uma peneira de furos maiores, e em seguida passa pelo segundo, onde os diâmetros serão menores. Essa segunda etapa é fundamental para proporcionar melhor aparência, consistência e uniformidade ao produto final, e é denominada *finishing*.¹

O processamento de sucos e polpas provenientes de frutas não cítricas deve combinar diversos fatores, tais como: escolha do/s equipamento/s adequado/s, pressão aplicada na extração e tempo de residência (DEMETRAKAKES, 1998).

Existem diversos equipamentos industriais para extração de suco e polpa de frutas que se baseiam na aplicação de pressão na forma direta ou centrifugal. No primeiro tipo incluem-se as prensas hidráulica, pneumática, de esteira contínua (*belt press*) e com parafuso contínuo (*screw press*), e no segundo, a centrífuga com peneiras.¹

Os processos de despulpamento e *finishing* normalmente incorporam ar ao produto, e provocam inúmeras reações oxidativas alterando as características sensoriais e vitamínicas da polpa. A eliminação do ar no produto é aconselhável, e pode ser realizada em desaeradores dos tipos centrífugo ou instantâneo (*flash*). Outra alternativa à eliminação de ar no produto é o uso de vapor vivo ou gás inerte, como o nitrogênio, dentro do equipamento durante o despulpamento e *finishing*.¹

A pasteurização de polpa de fruta é, geralmente, realizada em trocadores de calor dos tipos tubular e superfície raspada, a temperaturas acima de 90°C (93-94°C) durante 45 a 60 segundos (SOLER; RADOMILLE; TOCCHINI, 1991).

No processo de enchimento à quente, é necessário proceder a inversão dos recipientes logo após o fechamento para esterilização das tampas. O resfriamento deve ser rápido e a água de resfriamento deve ser devidamente clorada, evitando a recontaminação (TOCCHINI; NISIDA; DE MARTIN, 1995).

¹ MENEZES, H.C. **Notas de aula da disciplina Tecnologia de Sucos Concentrados**. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, ago. 2001.

No processamento de polpa congelada, o resfriamento é executado por trocadores de calor de placas ou superfície raspada, e a temperatura final do produto deverá estar entre -2 e 0°C . O resfriamento rápido é a etapa determinante neste processo, pois permite a conservação da qualidade nutricional e sensorial do produto. Uma vez resfriado, a polpa é levada à câmara de congelamento rápido (-40°C) (SOLER; RADOMILLE; TOCCHINI, 1991).

No processo asséptico, a esterilização a alta temperatura ($135-150^{\circ}\text{C}$), curto período de tempo (2 a 4 segundos) e resfriamento rápido proporciona inúmeras vantagens quando comparada aos métodos convencionais, tais como: retenção da cor, aroma e sabor, redução da perda de nutrientes e manutenção da consistência do produto (SOLER; RADOMILLE; TOCCHINI, 1991; MOURA et al., 2001).

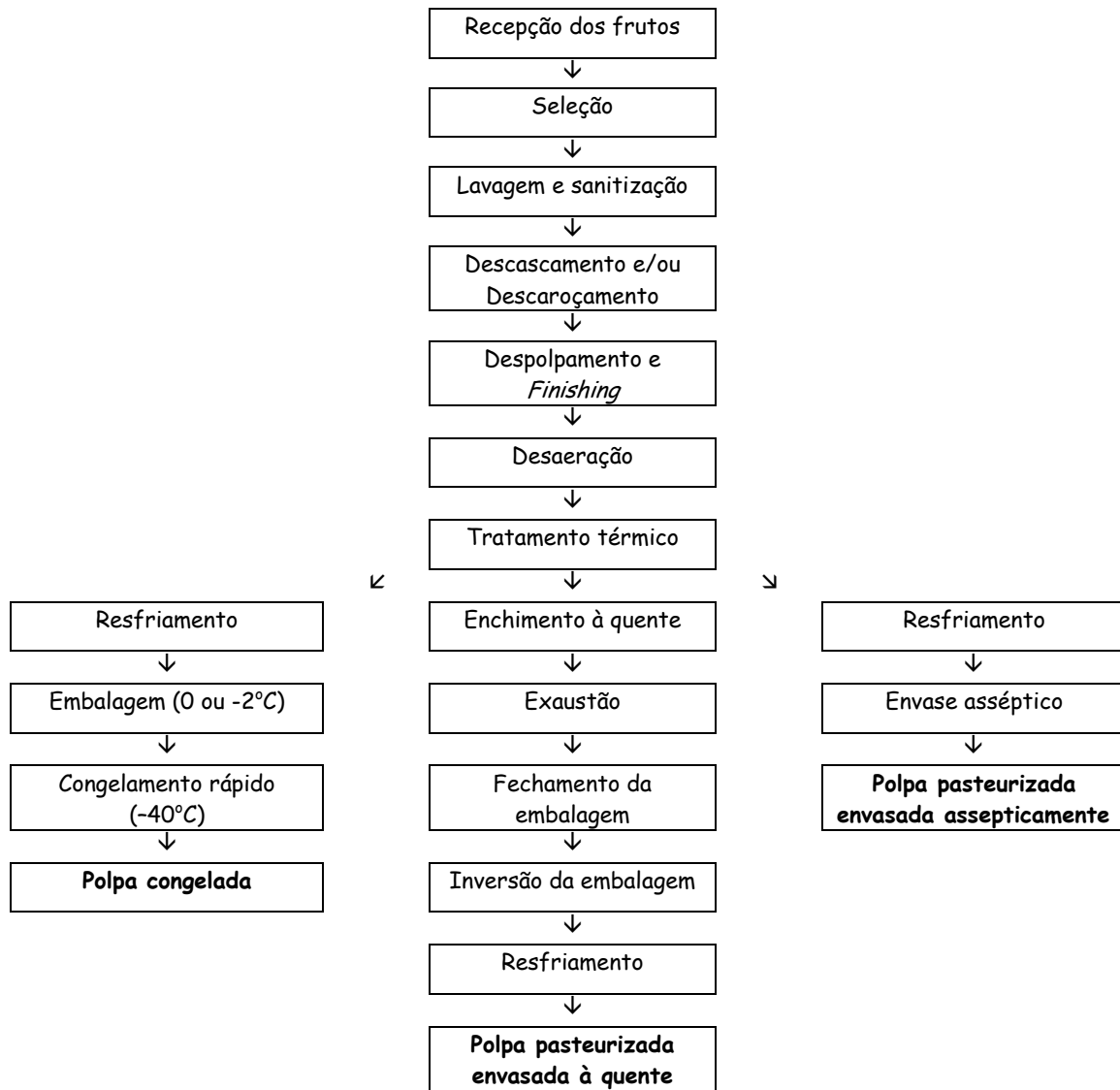


Figura 1.4. Processamentos de obtenção de polpa de fruta.

Atualmente, a conservação de polpa de fruta por aditivos químicos tem sido evitada, pois existe associação com graves problemas de saúde. ¹

Outro processo usado em menor escala é o “spin-cooker”, que consiste do envase a frio e pasteurização do produto em autoclave rotatória para melhorar a penetração de calor (SOLER; RADOMILLE; TOCCHINI, 1991).

¹ MENEZES, H.C. **Notas de aula da disciplina Tecnologia de Sucos Concentrados**. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, ago. 2001.

Néctar é a bebida não fermentada, obtida pela dissolução, em água potável, de polpa e açúcares, destinado ao consumo direto, podendo ser adicionado de ácidos. O néctar, cuja quantidade mínima de polpa de uma determinada fruta não tenha sido fixada em regulamento técnico específico, deve conter um mínimo de 30 % (m/m) da respectiva polpa, ressalvados os casos de fruta com acidez ou conteúdo de polpa muito elevados ou sabor muito forte e, neste caso, o conteúdo da polpa não pode ser inferior a 20% (m/m) (BRASIL, 2001).

Basicamente, o processo de obtenção de néctar de fruta é constituído pelas etapas de formulação, homogeneização, desaeração e tratamento térmico. Podem ser utilizados três distintos processos de preservação de néctar de fruta:

- processo de enchimento a quente (*hot filling*);
- processo asséptico;
- processo “spin-cooker”.

O néctar também pode ser elaborado a partir de mais de um tipo de fruta, e neste caso será denominado “néctar misto”. A formulação de *blend*, mistura de duas ou mais partes comestíveis de diferentes frutas, apresenta uma série de vantagens, como a possibilidade de combinação de diferentes aromas e sabores e soma dos componentes nutricionais. Segundo Uchôa Júnior (2001), dentro do setor de sucos de frutas o *blend* é um importante recurso para a disponibilização de bebidas diferenciadas no mercado.

7. VIDA-DE-PRATELEIRA

A vida-de-prateleira de um alimento pode ser definida como o período de tempo dentro do qual o alimento é seguro para o consumo e/ou apresenta qualidade aceitável para os consumidores (FU; LABUZA, 1997). De acordo com Vitali e Quast (2002) a vida-de-prateleira de um alimento é o tempo em que ele pode ser conservado em determinadas condições de temperatura, umidade relativa, luz, etc., sofrendo pequenas, mas bem estabelecidas alterações que são, até certo ponto, consideradas aceitáveis pelo fabricante, pelo consumidor e pela legislação alimentar vigente.

Segundo Padula (2002) a inaceitabilidade de um produto pode estar relacionada com diversos aspectos, entre eles: a presença de microorganismos patogênicos e deteriorantes, alterações na aparência, cor, odor, sabor e textura do alimento, perda do valor nutricional e contaminação de metais ou monômeros provenientes da embalagem.

Um dos parâmetros mais importantes no estabelecimento da vida-de-prateleira de um alimento é a temperatura, tanto nas várias fases de seu processamento, quanto durante o tempo de estocagem pré-consumo (LABUZA, 1982; TEIXEIRA NETO, 2002).

Alterações indesejáveis podem ocorrer em sucos e polpas de frutas, e essas estão relacionadas aos aspectos microbiológico, enzimático, ocorrência de reações químicas, normalmente de natureza oxidativa e também devido alterações físicas, que comprometem suas características sensoriais.

A perda de qualidade nos alimentos pode ser representada matematicamente pelas equações 1.1 e 1.2 (FU; LABUZA, 1997):

$$-\frac{dA}{dt} = kA^n \quad (1.1)$$

$$f(A) = kt \quad (1.2)$$

onde: A = fator de qualidade medido; $f(A)$ = função qualidade; t = tempo decorrido; k = constante da reação; n = ordem da reação; dA/dt = taxa de variação de A em função do tempo.

De acordo com Labuza (1984) a maior parte das degradações nos alimentos que têm sido estudadas até hoje são basicamente caracterizadas como de ordem zero ou primeira ordem. Alguns exemplos característicos destes tipos de alterações são mostrados na Tabela 1.5.

Tabela 1.5. Importantes alterações nos alimentos que seguem cinéticas de ordem zero ou primeira ordem.

Ordem aparente da reação	Alteração no alimento
Zero	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perda da qualidade global de alimentos congelados ▪ Escurecimento não-enzimático (Maillard)
Primeira	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perda de vitaminas ▪ Morte/crescimento de microorganismos ▪ Oxidação de pigmentos ▪ Alteração da textura em processamento térmicos

Fonte: Taoukis, Labuza e Saguy (1997)

Nas reações de ordem zero, a velocidade da reação é independente da concentração dos reagentes, e estas ocorrem, freqüentemente, em alimentos onde há limitação de difusão de certos participantes da reação. As reações de primeira ordem, que dependem da concentração dos reagentes, são as mais comuns e bastante estudadas em alimentos (VITALI; TEXEIRA NETO, 2002). Como exemplos clássicos das reações de ordem zero e primeira ordem têm-se o escurecimento não-enzimático (Maillard) e a degradação de vitaminas, respectivamente,

Em uma reação de ordem zero a taxa de alteração é constante com o tempo, enquanto que em uma reação de primeira ordem esta taxa apresenta decréscimo exponencial. As equações das reações de ordem zero (1.3) e primeira ordem (1.4) são mostradas abaixo (FU; LABUZA, 1997):

$$A = A_0 - kt \quad (1.3)$$

$$A = A_0 \exp(-kt) \quad (1.4)$$

onde: A_0 = fator de qualidade inicial; A = fator de qualidade no tempo decorrido; k = constante da reação; t = tempo decorrido.

Deve-se dar ênfase ao fato de que as equações utilizadas para descrever a cinética das reações de deterioração dos alimentos não representam o mecanismo real destas reações e, portanto, deve-se considerar que a ordem de reação é aparente (TAOUKIS; LABUZA; SAGUY, 1997).

Em estudos de vida-de-prateleira, a aplicação da análise sensorial no monitoramento da qualidade do produto durante a estocagem é fundamental. O critério para se estabelecer o tempo de deterioração através de análise sensorial é subjetivo e estabelecido pela equipe de provadores. Dependendo do produto, o critério adotado para o término do experimento pode ser o aumento ou diminuição na magnitude do valor médio de uma característica sensorial do produto, podendo ser usados os métodos sensoriais de diferença, descritivos e afetivos (MORI, 2002).

8. REOLOGIA

Reologia é definida como a ciência que estuda a resposta de um material à aplicação de uma tensão ou deformação (TOLEDO, 1991).

Segundo Holdsworth (1993) o estudo do comportamento reológico é de grande importância para a indústria de alimentos, pois apresenta diversas finalidades como:

- Cálculos em processos de engenharia, como por exemplo: cálculo de vazão, seleção de bombas, determinação da perda de carga em tubulações, etc;
- Determinar a funcionalidade de um ingrediente no desenvolvimento de um produto;
- Controle de qualidade e vida-de-prateleira;
- Correlação com dados obtidos por análise sensorial;

Em 1687, Isaac Newton introduziu o conceito de viscosidade, especialmente para líquidos, e apresentou hipóteses associadas com o escoamento dos fluidos entre duas placas paralelas. A viscosidade é a medida da resistência ao escoamento entre as camadas de moléculas de um fluido (SILVA, 2000).

Os fluidos alimentícios são caracterizados, quanto ao seu comportamento reológico, em Newtonianos e não-Newtonianos. Os fluidos Newtonianos, em escoamento laminar e regime permanente, apresentam viscosidade constante, ou seja, são caracterizados por uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, como mostrado na equação 1.5 (HOLDSWORTH, 1993; SILVA, 2000).

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (1.5)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (N/m² ou Pa)

η = viscosidade absoluta ou dinâmica (Pa.s)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹)

Alguns exemplos de alimentos que apresentam comportamento Newtoniano são os sucos de frutas clarificados, leite, óleo refinado e soluções de sacarose (HOLDSWORTH, 1971).

A tensão de cisalhamento é definida como a razão entre a força (F) necessária para produzir o movimento e a área (A), conforme a equação (1.6) abaixo:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1.6)$$

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

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (1.7)$$

onde:

η_a = viscosidade aparente (Pa.s)

Os fluidos não-Newtonianos, que não apresentam viscosidade constante, são classificados em independentes ou dependentes do tempo. Dentre os independentes do tempo (Figura 1.5) estão os fluidos plásticos de Bingham (margarina, óleos vegetais); os fluidos pseudoplásticos (sucos e polpas de frutas e vegetais) e os fluidos dilatantes (suspensões de amido, mel). Para os fluidos não-Newtonianos independentes do tempo, submetidos à temperatura e concentração constantes, a viscosidade aparente depende somente da taxa de deformação. Já os fluidos dependentes do tempo (Figura 1.6), cuja viscosidade depende não somente da taxa de deformação, mas também do tempo de escoamento, estão divididos em tixotrópicos (maionese, iogurte) e reopéticos (HOLDSWORTH, 1993).

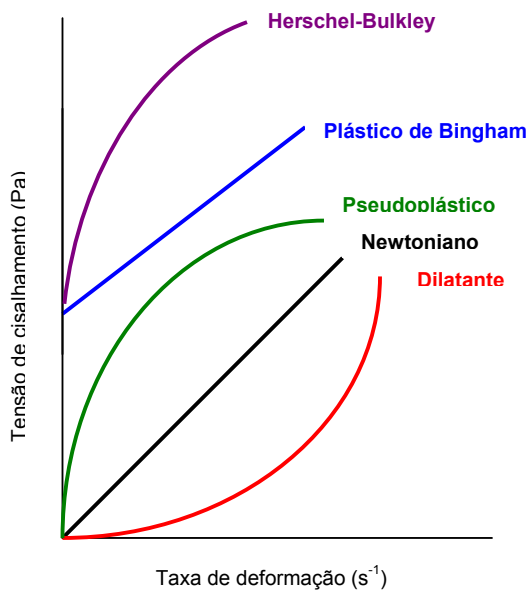


Figura 1.5. Fluidos Newtoniano e não-Newtonianos independentes do tempo.

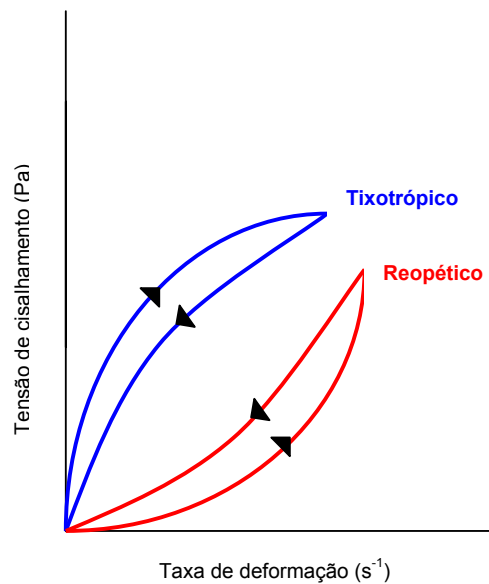


Figura 1.6. Fluidos não-Newtonianos dependentes do tempo.

As polpas de frutas, dispersões de moléculas ou partículas assimétricas, apresentam no repouso um estado desordenado e quando submetidas a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas ou partículas tendem a orientar-se na direção da força aplicada. Quanto maior a força aplicada, maior será a ordenação, e conseqüentemente, menor a viscosidade aparente. Como a viscosidade aparente das polpas de frutas decresce com o aumento da tensão de cisalhamento, estas são classificadas como fluidos pseudoplásticos (SUGAI, 2002)

Trifiró et al. (1987) relataram que o afastamento do comportamento Newtoniano em sucos e polpas de frutas é determinado pelo conteúdo de polpa. Tanglertpaibul e Rao (1987) mostraram que o comportamento reológico de sucos e polpas de frutas está relacionado aos teores de sólidos solúveis em suspensão em função da forma, tamanho, concentrações das partículas suspensas e da estrutura do sistema.

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

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (\text{Ostwald-de-Waele}) \quad (1.8)$$

$$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n \quad (\text{Herschel-Bulkley}) \quad (1.9)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (N/m² ou Pa)

τ_0 = tensão inicial de cisalhamento (N/m² ou Pa)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹)

K = índice de consistência (Pa.sⁿ)

n = índice de comportamento (adimensional)

Para fluidos pseudoplásticos o índice de comportamento (n) é menor que a unidade, e quanto menor este valor mais intenso é o comportamento pseudoplástico. O valor de n diminui com o aumento do teor de sólidos, e usualmente é pouco afetado pela temperatura. O valor do índice de consistência (K) eleva-se com o aumento do teor de sólidos e também varia com a temperatura (HOLDSWORTH, 1971).

O modelo de Ostwald-de-Waele tem sido amplamente utilizado devido sua simplicidade. No entanto, para fluidos que apresentam tensão inicial, ou seja, que necessitem de uma tensão finita para o início do escoamento, o modelo de Herschel-Bulkley é mais adequado (STEFFE, 1992; SILVA, 2000).

Outro modelo reológico, o modelo proposto por Mizrahi-Berk, tem se ajustado à maioria dos reogramas de polpas e sucos de frutas. Esse modelo foi inicialmente empregado para descrever o comportamento reológico de suco de laranja concentrado (PELEGRINE, 1999).

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \dot{\gamma}^{\eta_M} \quad (\text{Mizrahi-Berk}) \quad (1.10)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

K_{OM} = raiz quadrada da tensão inicial de Mizrahi-Berk ($\text{Pa}^{0,5}$)

K_M = índice de consistência de Mizrahi-Berk ($\text{Pa}^{0,5} \cdot \text{s}^{\eta_M}$)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s^{-1})

η_M = índice de comportamento (adimensional)

Em geral, o efeito da temperatura na viscosidade aparente (η_a), a uma taxa de deformação específica, tem sido expresso por uma equação análoga à de Arrhenius (equação 1.11). Para fluidos não-Newtonianos, o índice de consistência pode ser empregado para determinar o efeito da temperatura (equação 1.12) (HOLDSWORTH, 1971; VITALI, ROIG, RAO, 1974; RAO, BOURNE, COOLEY, 1981; SCHRAMM, 1994).

$$\eta_a = \eta_o \exp\left(\frac{E_{at,\eta}}{RT}\right) \quad (1.11)$$

onde:

η_a = viscosidade aparente (Pa.s)

η_o = constante (Pa.s)

$E_{at,\eta}$ = energia de ativação para escoamento viscoso (kcal.gmol^{-1})

R = constante dos gases ($1,987 \cdot 10^{-3} \text{ kcal.gmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T = temperatura absoluta (K)

$$K = C_{o,k} \exp\left(\frac{E_{at,\eta}}{RT}\right) \quad (1.12)$$

onde:

K = índice de consistência (Pa.sⁿ)

$C_{o,k}$ = constante (Pa.sⁿ)

A equação 1.11 indica a tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. De um modo geral, quanto maior a energia de ativação maior será o efeito da temperatura sobre a viscosidade (HOLDSWORTH, 1971; SILVA, 2000).

9. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O uso de planejamentos experimentais, baseados em princípios estatísticos, pode fornecer o máximo de informação útil realizando-se um número mínimo de experimentos, com melhor qualidade de informação nos resultados. A análise multivariável permite verificar e quantificar efeitos sinérgicos e antagônicos entre as variáveis estudadas, e é possível otimizar mais de uma resposta ao mesmo tempo (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2002; RODRIGUES, 2004).

No planejamento de qualquer experimento, a primeira etapa é decidir quais os fatores e as respostas de interesse. Os fatores ou variáveis independentes, em geral, são as variáveis que o experimentador tem condições de controlar, e podem ser qualitativas ou quantitativas. As respostas são as variáveis dependentes, que serão ou não afetadas por modificações provocadas nos fatores, e muitas vezes precisam ser consideradas simultaneamente (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2002).

A metodologia de superfícies de resposta (ou RSM, de *Response Surface Methodology*) é uma técnica de otimização baseada em planejamentos fatoriais, e que tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais.

Os processos de otimização são divididos em diversas etapas, caracterizadas por decisões sobre a função objetivo a ser observada, pela determinação dos fatores que influenciam significativamente a resposta e, por fim, a otimização propriamente dita das variáveis selecionadas, como pode ser observado na Figura 1.7.

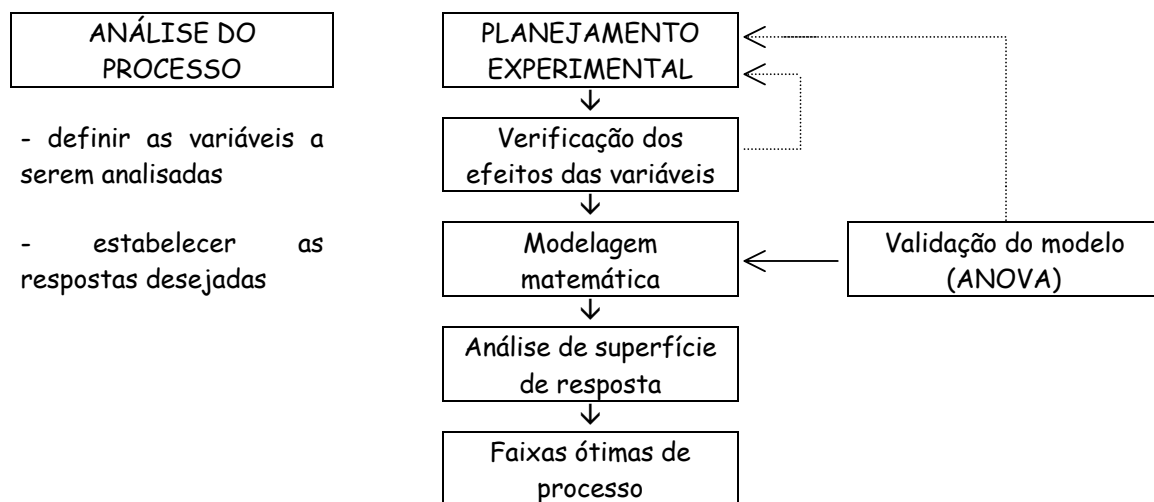


Figura 1.7. Etapas para o desenvolvimento do planejamento experimental e da otimização (RODRIGUES, 2004).

Na análise dos efeitos principais e de interação, alguns testes estatísticos são utilizados, como:

- Valor t : mede o quão “grande” é o efeito em relação ao erro padrão;
- Valor p : probabilidade de significância baseado no valor t calculado. Pequenos valores de p estão associados a grandes valores de t , isto implica que o coeficiente é muito maior que o erro padrão. Geralmente são considerados significativos os efeitos que apresentam $p \leq 0,05$, que corresponde a um limite de confiança de 95% .

O método mais usado para se avaliar numericamente a qualidade do ajuste de um modelo é a Análise de Variância (ANOVA). De acordo com o valor obtido pela razão das médias quadráticas da regressão e dos resíduos pode-se verificar se a regressão é estatisticamente significativa ou não (Teste F). Da mesma forma que para a regressão, também é importante o cálculo da razão das médias quadráticas da falta de ajuste e do erro puro. O valor obtido, se não for estatisticamente significativo, evidencia o ajuste do modelo avaliado (BOX; WETZ, 1973).

Outro fator relevante é o coeficiente de determinação (R^2) do modelo, que fornece o valor da variação total em torno da média explicada pela regressão (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2002).

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDRIGUE, M. L. **Desenvolvimento e validação de metodologia analítica utilizando a CLAE para determinação de vitamina C em frutas e seus principais produtos.** 1998. 160p. Tese de Doutorado (Doutor em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

ALVES, R. E. **Qualidade de acerola submetida à diferentes condições de congelamento, armazenamento e aplicações pós-colheita de cálcio.** 1999. 117p. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

ARÓSTEGUI, F.; ASENJO, C. F.; MUÑIZ, A. I.; ALEMAÑY, L. Observations and data on a promising selection of the West Indian cherry, *Malpighia puniceifolia* L. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, Rio Piedras, v. 39, n. 2, p. 51-56, 1955.

ASENJO, C. F.; GUZMAN, S. F. de. The high ascorbic acid content of the West Indian Cherry. **Science**, Washington, v. 103, p. 219, 1946.

ASENJO, C. F. Nutrient composition, flavor qualities and other characteristics of West Indian Cherry. **Abstracts of Papers American Chemical Society**, 176AGFD49, 1978.

BAILEY, H. L., BAILEY, E. Z. **Hortys third, a concise dictionary of plants cultivated in the United States and Canada.** New York: Macmillan Publ. Co. Inc., 1976. 1290p.

BARNABÉ, D.; VENTURINI FILHO, W. G. Características físico-químicas e sensoriais de refrigerantes de acerola produzidos a partir de suco desidratado e extrato seco da fruta. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 69-76, 2004

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** 2 ed. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2002.

BEUCHAT, L. R.; NAIL, B. V.; ADLER, B. B.; CLAVERO, M. R. S. Efficacy of spray application of chlorinated water in killing pathogenic bacteria on raw apples, tomatoes and lettuce. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 61, n. 10, p. 1305-1311, 1998.

BEZERRA, J. E. F.; PREITAS, E. V. de; PEDROSA, A. C.; LEDERMAN, I. E.; DANTAS, A. P. Performance of surinam cherry (*Eugenia uniflora* L.) in Pernambuco, Brazil. II – Productive period 1989 – 1995. **Acta Horticulturae**, Vitória, n. 452, p. 137-142, 1997.

BEZERRA, J. E. F.; SILVA JR., J. F. da; LEDERMAN, I. E. **Pitanga (*Eugenia uniflora* L.)**. Jaboticabal: Funep, 2000. 30 p. (Série Frutas Nativas 1).

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, 9, 1973.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Portaria nº 23, de 25 de abril de 2001. Anexo 3.

BURTON, G. W. Antioxidant action of carotenoids. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 119, n. 1, p. 109-111, 1989.

CAVALCANTE, M. L. **Composição de carotenóides e valor de vitamina A em pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e acerola (*Malpighia glabra* L.)**. 1991. 86 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

CEREZAL-MEZQUITA, P.; GARCÍA-VIGO, Y. La acerola – fruta marginada de America con alto contenido de acido ascorbico. **Alimentaria**, Madri, v. 37, n. 309, p. 113-125, 2000.

CONCEIÇÃO, M. P. J. **Cinética de degradação térmica de antocianinas em suco de acerola (*Malpighia glabra* L.)**. 1997. 59p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

DEMETRAKAKES, P. The daily grind (making juices, sauces and other products from non-citrus fruits). **Food Processing**, Chicago, v. 59, n. 12, p. 85-86, 1998.

FERREIRA, J. E. M. **Cinética e fatores que influenciam na degradação de carotenóides em sistemas modelos e alimentos**. 2001. 85p. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FERREIRA, V. L. P. **Colorimetria em alimentos**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1991. 43p.

FITTING, K. O.; MILLER, C. D. The stability of ascorbic acid in frozen and bottled acerola juice alone and combined with other fruit juices. **Food Research**, Chicago, v. 25, p. 203-210, 1960.

FONSECA, H.; NOGUEIRA, J. N.; LEME JR, J. Influência de alguns compostos químicos na retenção do ácido ascórbico em frutas liofilizadas. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 29, p. 317-326, 1972.

FRANCIS, F. J.; CLYDESDALE, F. M. **Food colorimetry: theory and applications**. Westport: AVI Publishing Co., 1975. 477p.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed.) **Anthocyanins as food colors**, London: Academic Press, 1982. p. 181-205.

FRANCIS, F. J. Anthocyanins and betalains: composition and applications. **Cereal Foods World**, Saint Paul , v. 45, n. 5, p. 208-213, 2000.

FRANK, J. F.; TAKEUSHI, K. Direct observation of E. coli O157:H7 inactivation on lettuce leaf using confocal scanning laser microscopy. In: **Proceedings of International Conference of International Committee on Food Microbiology and Hygiene**. Veldhoven: International Committee on Food Microbiology and Hygiene, 1999. p. 795-797.

FU, B.; LABUZA, T. P. Shelf life of frozen foods. In: LABUZA, T. P.; FU, B. **Shelf Life Testing: Procedures and Prediction Methods**. Denver: CRC Press, 1997. Cap. 19. p.377-415.

GARDNER, P. T.; WHITE, T. A. C.; McPHAIL, D. B.; DUTHIE, G. G. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. **Food Chemistry**, Oxford, v. 68, n. 4, p. 471-474, 2000.

GOLDMAN, M.; HOREV, B.; SAGUY, I. Decolorization of beta-carotene in model systems simulating dehydrated foods: mechanism and kinetic principles. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 3, p. 751-754, 1983.

GOMES, R. P. **Fruticultura brasileira**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1975. 446p.

GOMES, E.; DILERMANDO, P.; MARTINS, A. B. G.; FERRAUDO, A. S. Análise de grupamentos e de componentes principais no processo seletivo em genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 36-39, 2000.

GROSS, J. **Pigments in fruits**. London: Academic Press, 1987. 303p.

GUIMARÃES, F. A.; HOLANDA, L. F. F.; MAIA, G. A.; MOURA FÉ, J. A. Estudos analíticos e físicos em polpa e semente de pitanga (*Eugenia uniflora* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 208-215, 1982.

HALLIWELL, B. Vitamin C: antioxidant ou pro-oxidant in vivo?. **Free Radical Research**, Reading, v. 25, n. 5, p. 439-454, 1996.

HARBONE, J. B. **Comparative biochemistry of the flavonoids**. London: Academic Press, 1967. p. 1-36.

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

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

HUNTER, R. S.; HAROLD, R. W. **The measurement of appearance**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1981.

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

IADEROZA, M.; DRAETTA, I. S. Enzimas e pigmentos – influências e alterações durante o processamento. In: SOLER, M. P.; BLEINROTH, E. W.; IADEROZA, M.; DRAETTA, I. S.; LEITÃO, M. F. F.; RADOMILLE, L. R.; TOCCHINI, R. P.; FERREIRA, V. L. P.; MORI, E. E. M.; SOLER, R. M.; ARDITO, E. F. G.; TEXEIRA NETO, R. O. **Industrialização de Frutas**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1991. p. 53-115. (Manual Técnico nº 8).

ITOO, S.; AIBA, M; ISHIHATA, K. Ascorbic acid content in acerola fruit from different production regions and degrees of maturity, and stability during processing. **Journal of Japanese Society of Food Science and Technology**, Tóquio, v. 37, n. 9, p. 726-729, 1990.

JIMÉNEZ, A.; GUTIÉRREZ, G. Color. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 2001. p. 325-346.

KITTS, D. D. An evaluation of the multiple effects of the antioxidant vitamins. **Trends in Food Science and Technology**, Oxford, v. 8, p. 198-203, 1997.

KRINSKY, N. I. Carotenoids as chemopreventive agents. **Preventive Medicine**, San Diego, v. 18, n. 5, p. 592-602, 1989.

KRINSKY, N. I. Effects of carotenoids in cellular and animal systems. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 53, n. 1, p. 238s-246s, 1991.

LABUZA, T. P. **Shelf-life dating of foods**. Westport: Food and Nutrition Press, 1982.

LABUZA, T. P. Application of chemical kinetics to deterioration of foods. **Journal of Chemical Education**, Easton, Pa., US : American Chemical Society, Division of Chemical Education, v. 61, p. 348-358, 1984.

LEDERMAN, I. E.; BEZERRA, J. E. F.; CALADO, G. **A pitangueira em Pernambuco**. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA, 1992. 20p.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam , v. 20, p. 207-220, 2000.

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

LIMA, V. L. A. G. de; MÉLO, E. A.; LIMA, L. S.; NASCIMENTO, P. P. Estudo comparativo das características físico-químicas de duas seleções de pitanga (*Eugenia uniflora* L.). In: XVII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. **Anais**. Fortaleza, 2000. p. 5.22.

LIMA, V. L. A. G. de; MÉLO, E. A.; LIMA, D. E. S. Fenólicos e carotenóides totais em pitanga. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 447-450, 2002.

MATSUURA, F. C. A. U. **Processamento e caracterização de suco integral e concentrado congelado de acerola**. 1994. 141p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

MATTA, V. M. **Estudo da utilização dos processos de separação por membranas para obtenção de suco de acerola clarificado e concentrado**. 1999. 180p. Tese de Doutorado (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

MAZZA, R.; MINIATI, E. **Anthocyanins in fruits, vegetables and grains**. Boca Raton: CRC Press Inc., 1993. p. 1-28.

MEDEIROS, R. B. de. Teores de ácido ascórbico, ácido dehidroascórbico e ácido dicetogulônico na acerola (*Malpighia glabra* L.) verde e madura. **Revista Brasileira de Medicina**, São Paulo, v. 26, n. 7, p. 398-400, 1969.

MORI, E. E. M. Determinação da vida-de-prateleira através da análise sensorial e correlações. In: MOURA, S. C. S. R. de; GERMER, S. P. M. **Manual do curso reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2002. Cap. 5.

MORTON, J. F. Surinam cherry. In: MORTON, J. F. (Ed.) **Fruits of warm climates**. Miami, 1987.

MOURA, C. F. H.; ALVES, R. E.; MOSCA, J. L.; PAIVA, J. R.; OLIVEIRA, J. J. G. Fruit physicochemical characteristics of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) clones selected in commercial orchards. **Proceedings of the Interamericam Society for Tropical Horticulture**, Guatemala, v. 41, 1997.

NAGY, S. Vitamin C content of citrus fruit and their products: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 28, n. 1, p. 8-18, 1980.

NGUYEN, M. L.; SCHWARTZ, S. J. Lycopene: chemical and biological properties. **Food Technology**, Chicago, v. 53, n. 2, p. 38-45, 1999.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V. de; BURITY, H. A.; SILVA JÚNIOR, J. F. da Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico-químicas de acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 463-470, 2002.

OLIVA, P. B. **Estudo do armazenamento da acerola *in natura* e estabilidade do néctar de acerola**. 1995. 103p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

OLIVEIRA, P. A. de. **Estudo da estabilidade e estabilização das antocianinas do bagaço de uva seibel 2**. 2001. 103p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

PADULA, M. Influência da embalagem na vida-de-prateleira de alimentos. In: MOURA, S. C. S. R. de; GERMER, S. P. M. **Manual do curso reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2002. Cap. 4.

PAIVA, J. R., CORDEIRO, E. R., ALVES, R. E., ALMEIDA, A. S.; PINTO, S. A. Seleção e clonagem de plantas de acerola. In: 14^o Encontro de Genética do Nordeste. **Anais**. Recife: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. p. 53.

PELEGRINE, D. H. **Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi**. 1999. 115p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

RAO, M. A.; BOURNE, M. C.; COOLEY, H. J. Flow properties of tomato concentrates. **Journal of Texture Studies**, New York, v. 12, n. 4, p. 521-538, 1981.

ROCHA, I. C. **Suco de acerola: efeito da temperatura de pasteurização e armazenamento**. 1988. 105p. Dissertação de Mestrado - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1988.

RODRIGUES, M. I. **Planejamento experimental e otimização de processos: uma ferramenta indispensável no desenvolvimento de produtos e processos**. Disponível em: <<https://www.fea.unicamp.br/servicos/servicos.php>>. Acesso em: 13 jun. 2004.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored foods**. Washington: ILSI Press, 1997. 93p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Press, 1999. 64p.

ROJAS, A. M.; GERSCHENSON, L. N. Ascorbic acid destruction in sweet aqueous model systems. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 30, n. 6, p. 567-572, 1997.

SANTAMARIA, L.; BIANCHI, A. Cancer chemoprevention by supplemental carotenoids in animals and humans. **Preventive Medicine**, San Diego, v. 18, n. 5, p. 603-623, 1989.

SANTINI JR., R.; NEVAREZ, J. Extraction of ascorbic acid from acerolas (*Malpighia punicifolia* L.). **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, Rio Piedras, v. 39, p. 184-189, 1955.

SANTOS, A. R. L.; REINHARDT, D. H.; SILVEIRA, W. R.; OLIVEIRA, J. R. P.; CALDAS, R. C. Qualidade pós-colheita de acerola para processamento, em função de estádios de maturação e condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 21, n. 3, p. 365-371, 1999.

SCHRAMM, G. **A practical approach to rheology and rheometry**. Karlsruhe: Gebrueder Haake GmbH, 1994. 289p.

SGARBIERI, V. C.; PACHECO, M. T. B. Revisão: Alimentos Funcionais Fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. 1,2, p. 7-19, 1999.

SILVA, M. de F. V. da. **Efeito dos diferentes tratamentos e embalagens nas características da polpa de acerola e na determinação dos teores de ácido ascórbico e das antocianinas durante o armazenamento**. 1999. 224p. Tese de Doutorado (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

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

SINGH-DHALIWAL, T.; TORRES-SEPÚLVEDA, A. Performance of acerola, *Malpighia puniceifolia* L., in the coffee region of Puerto Rico. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, Rio Piedras, v. 46, n. 3, p. 195-204, 1962.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F. de; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA Jr., A.; FILHO, M. de S. de S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo "foam-mat". **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

SOLER, M. P.; RADOMILLE, L. R.; TOCCHINI, R. P. Processamento. In: SOLER, M. P.; BLEINROTH, E. W.; IADEROZA, M.; DRAETTA, I. S.; LEITÃO, M. F. F.; RADOMILLE, L. R.; TOCCHINI, R. P.; FERREIRA, V. L. P.; MORI, E. E. M.; SOLER, R. M.; ARDITO, E. F. G.; TEXEIRA NETO, R. O. **Industrialização de Frutas**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1991. p. 53-115. (Manual Técnico nº 8).

SRIVASTAVA, A.; SINGH, S. K. Determination of vitamin C in chemical, pharmaceutical and biological samples by spectrophotometric titrimetric with o-diacetoxiodobenzoate. Analysis of mixture of vitamin C with methionine and cysteine or glutathione. **Analyst**, London, v. 113, n.2, p. 259-262, 1988.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. East Lansing: Freeman Press, 1992. 226p.

STRINGHETA, P. C. **Identificação da estrutura e estudo da estabilidade das antocianinas extraídas da inflorescência de capim-gordura (*Melinis minutiflora*, Pal de Beauv).** 1991. 138p. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

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

TANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M.A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, n. 1, p. 141-145, 1987.

TANNENBAUM, S. R. Vitaminas y minerales. In: FENNEMA, O. (Ed) **Introducción a la Ciencia de los Alimentos**. Madrid: Reverté S.A., 1976, p. 404–417.

TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P.; SAGUY, I. S. Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction. In: VALENTAS, K. J.; ROTSTEIN, E.; SINGH, R. P. **The handbook of food engineering practice**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1997. p.361-402.

TEXEIRA NETO, R. O. Reações de transformação em alimentos – influência da temperatura. In: MOURA, S. C. S. R. de; GERMER, S. P. M. **Manual do curso reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2002. Cap. 1.

TOCCHINI, R. P.; NISIDA, A. L. A. C.; DE MARTIN, Z. J. **Industrialização de polpas, sucos e néctares de frutas**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1995. 85p. (Manual).

TOLEDO, R. T. **Fundamentals of food process engineering**. New York: Chapman & Hall, 1991. 602p.

TRIFIRÓ, A.; SACCANI, G.; GHERARDI, S.; BIGLIARDI, D. Effect of content and sizes of suspended particles on the rheological behaviour of apricot purees. **Industria Conserve**, Parma, v. 62, p. 97-104, 1987.

UCHÔA JÚNIOR, P. P. M. **Produção de um “blend” de suco de abacaxi (*Ananas Comosus*) clarificado e carbonatado.** 2001. 96p. Tese de Doutorado (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

VILLACHICA, H. **Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia.** Tratado de Cooperacion Amazonica. p. 228-213, 1996.

VITALI, A. A.; QUAST, D. G. Vida-de-prateleira de alimentos. In: MOURA, S. C. S. R. de; GERMER, S. P. M. **Manual do curso reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados.** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2002. Cap. 3.

VITALI, A. A.; TEXEIRA NETO, R. O. Introdução à cinética de reação em alimentos. In: MOURA, S. C. S. R. de; GERMER, S. P. M. **Manual do curso reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados.** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2002. Cap. 2.

VITALI, A. A.; ROIG, S. M.; RAO, M. A. Viscosity behavior of concentrated passion fruit juice. **Confructa**, Frankfurt, v. 19, n. 5, p. 201-206, 1974.

WESCHE-EBELING, P.; ARGÁIZ-JAMET, A.; HERNANDEZ-PORRAS, L. G.; LOPEZ-MALO, A. Preservation factors and processing effects on anthocyanin pigments in plums. **Food Chemistry**, Oxford, v. 57, n. 3, p. 399-403, 1996.

ZIEGLER, R. G. Vegetables, fruits, and carotenoids and the risk of cancer. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 53, n. 1, p. 251s-259s, 1991.

CAPÍTULO 2

ESTUDO DE EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE PITANGA (*Eugenia uniflora* L.)

RESUMO

Atualmente, devido o cenário de crescente investimento na agroindústria do Brasil, frutos como a pitanga (*Eugenia uniflora* L.), estão sendo cada vez mais investigados cientificamente, principalmente devido as suas características sensoriais e elevado teor de carotenóides. O estudo do processo de extração de polpa foi realizado em dois diferentes tipos de despulpadores: despulpador de escovas inclinado e despulpador de pás horizontal. Com o objetivo de comparar os dois métodos de extração de polpa foram avaliados os seguintes parâmetros de qualidade: rendimento, cor instrumental, quebra de sementes e aceitação sensorial. Foram também realizadas as análises microbiológicas referentes a bolores e leveduras, contagem total, coliformes totais e fecais. Os processos de despulpamento dos frutos de pitanga nos equipamentos de escovas e pás apresentaram rendimentos de polpa de $58,47 \pm 3,92\%$ e $46,61 \pm 1,80\%$, respectivamente. A polpa obtida no despulpador de pás apresentou uma diferença total de cor (ΔE^*) em relação aos parâmetros de cor L^* , a^* e b^* da polpa padrão, significativamente superior ($p \leq 0,05$) a polpa processada no despulpador de escovas. De acordo com análise sensorial, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para os atributos aroma e sabor dos néctares de pitanga formulados com as polpas obtidas nos dois despulpadores. Desta forma, verificou-se que o despulpador de escovas foi mais eficiente que o despulpador de pás para obtenção de polpa de pitanga, devido ao maior rendimento e menor ΔE^* .

Palavras-chave: pitanga, polpa, extração, cor, sensorial

A STUDY OF THE EXTRACTION AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISATION OF PITANGA (*Eugenia uniflora* L.) PULP

SUMMARY

Currently, due to increasing investment in Brazilian agro-industry, fruits such as “pitanga” (*Eugenia uniflora* L.) are being more and more investigated scientifically, principally due to their sensory characteristics and high carotenoid contents. Pulp extraction was studied using two depulpers: an inclined brush depulper and a horizontal blade depulper. The following quality parameters of the pulps obtained were determined in order to compare the two extraction procedures: yield, instrumental colour, seed breakage and sensory acceptance. The following microbiological analyses were also performed: yeast and mould count, total count, total and faecal coliform counts. The brush and blade depulpers presented yields of $58.47 \pm 3.93\%$ and $46.61 \pm 1.80\%$ respectively in pulp from the pitanga fruits. The pulp obtained using the blade depulper presented a total colour difference (ΔE^*) with respect to the colour parameters of L^* , a^* and b^* of the standard pulp, significantly greater ($p \leq 0.05$) than that obtained using the brush depulper. According to the sensory analyses, there was no significant difference ($p > 0.05$) for the attributes of aroma and flavour, between the pitanga nectars formulated with pulps obtained from the two depulpers. Thus it was verified that the brush depulper was more efficient than the blade depulper in obtaining pitanga pulp, due to its greater yield and lower ΔE^* .

Key words: pitanga, pulp, extraction, colour, sensory analysis

1. INTRODUÇÃO

As frutas tropicais, em geral, têm evoluído bastante na preferência do consumidor, principalmente no que se refere às características de sabor e aroma. O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de inúmeras espécies de frutas, e apresenta uma grande quantidade de espécies nativas ainda não aproveitadas em todo seu potencial, e dentre estas podemos citar a pitanga.

A pitanga (*Eugenia uniflora* L.) é um fruto tropical, pertencente à família das Mirtáceas, nativo das regiões Sul e Sudeste do Brasil e que tem se adaptado favoravelmente às condições climáticas e edáficas da Região Nordeste. Esse fruto, bastante apreciado devido a seu sabor agradável e refrescante, é uma baga de aproximadamente 30mm de diâmetro, com 8 a 10 sulcos longitudinais, e achatada nas extremidades (GOMES, 1975). Durante o processo de maturação a cor do fruto evolui de verde a alaranjado atingindo a coloração vermelha intensa ou roxa ao apresentar-se completamente maduro (MÉLO; LIMA; NASCIMENTO, 2000).

Segundo Cavalcante (1991), dentre os frutos existentes na natureza, a pitanga figura entre os que possuem maior quantidade de carotenóides totais (225,9 μ g/g) e um valor significativo de vitamina A (991ER/100g).

As pitangas, quando maduras são facilmente vulneráveis à depreciação, sendo de difícil conservação, o que dificulta o seu transporte e comercialização a grandes distâncias (LEDERMAN; BEZERRA; CALADO, 1992). A polpa de fruta constitui uma alternativa de consumo para os mercados nacionais ou internacionais, mesmo em períodos fora da safra de produção. É utilizada como matéria-prima em diversos segmentos industriais, tais como: néctares, sucos, geléias, doces de massa, iogurtes, artigos de confeitaria, produção de alimentos infantis e outros.

Polpa de fruta é definida como o produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtida de frutos polposos, através de processo tecnológico adequado, com um teor mínimo de sólidos totais, proveniente da parte comestível do fruto (BRASIL, 2000).

Salvo pequenas distinções entre as empresas, o processo de obtenção de polpa de fruta apresenta as seguintes etapas: recepção da matéria-prima, seleção, lavagem com água e agente sanitizante (normalmente cloro), descascamento (caso haja necessidade), despulpamento, processos de preservação (pasteurização, congelamento, conservantes químicos) e envase (CEZAR et al., 2002).

O método de extração de polpa aplicado a uma determinada fruta constitui-se uma importante etapa do processamento, pois pode afetar intensamente as características sensoriais do produto final. Além disso, é decisiva a ação de escolher entre o aumento do rendimento em detrimento da qualidade, pois sempre deve haver o equilíbrio da relação custo/benefício (DIB TAXI, 2001).

Diante disto, é importante determinar quais equipamentos de extração se adaptam melhor à pitanga, conjugando o fator econômico caracterizado pelo rendimento e a manutenção das qualidades sensoriais e nutricionais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL

2.1.1. Matéria-Prima

Foram utilizados frutos de pitanga *in natura* de coloração avermelhada provenientes de Valinhos - São Paulo.

2.1.2. Equipamentos

- Tanque de aço inox (250l);
- Despulpador inclinado com braços de escovas da marca BERTUZZI, dotado de peneira com diâmetro equivalente a 0,8mm de abertura da malha;
- Despulpador horizontal com pás de aço inoxidável da marca STERLING, dotado de peneira com diâmetro equivalente a 0,8mm de abertura da malha;
- Congelador horizontal de placas FRIGOSTRELLA DO BRASIL, mod. P.M-5;

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Determinação das porcentagens de polpa e semente nos frutos de pitanga *in natura*

As porcentagens de polpa e semente foram determinadas através de separação manual e pesagem de cada componente, utilizando cerca de 100g de frutos de pitanga escolhidos aleatoriamente, em triplicata.

2.2.2. Processos de extração da polpa de pitanga

Cerca de 11kg de frutos foram previamente selecionados segundo o grau de maturação, ausência de danos mecânicos e pragas. Em seguida foram lavados com água potável, sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 30ppm por 20 minutos, e então, novamente lavados com água potável para retirada do cloro. Os equipamentos de extração (pás e escovas) e utensílios foram previamente lavados com água e detergente, sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 200ppm por 30 minutos, e novamente lavados com água para retirada do cloro.

O despoldador de pás da marca STERLING possui capacidade de funcionamento com no mínimo 400-500g de frutos, portanto, foi utilizado 1kg de frutos para cada extração (duplicata), para que a avaliação do processo de extração não fosse comprometida. O despoldador de escovas da marca BERTUZZI apresenta uma capacidade mínima de 2kg de frutos para pleno funcionamento, por isso, foram utilizados 4,5 kg de frutos em cada extração (duplicata).

As polpas de pitanga processadas nos dois despoldadores foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno, seladas, e submetidas a congelamento rápido em congelador de placas por 3 horas (-30°C). As embalagens plásticas (Polietileno de baixa densidade - PEBD) apresentavam geometria retangular, com dimensões médias de 34x24,5cm (comprimento x largura) e espessura média de $0,117\pm 0,001\text{mm}$, considerando as duas faces da embalagem. As polpas foram estocadas na câmara de congelamento (-18°C) do Departamento de Tecnologia de Alimentos – FEA – UNICAMP.

Com o objetivo de comparar os dois métodos de extração de polpa foram avaliados os seguintes parâmetros de qualidade: rendimento, cor instrumental, quebra de sementes segundo a metodologia proposta por Reed, Hendrix Jr. e Hendrix (1986) e aceitação sensorial de acordo com Stone e Sidel (1985). Foram também realizadas as análises microbiológicas referentes a bolores e leveduras, contagem total, coliformes totais e fecais, de acordo com Vanderzant e Splittstoesser (1992).

A metodologia de quebra de sementes consiste na contagem visual de partículas oriundas das sementes do fruto, através do espalhamento de uma certa quantidade de polpa em uma placa de Petri. Para obter uma melhor visualização das partículas foi utilizado um microscópio estereoscópio da marca MICRONAL mod. baseSIT com os seguintes parâmetros de observação: luz incidente máxima, fundo preto e aumento de 7x.

2.2.3. Análises físicas, físico-químicas e químicas da polpa de pitanga

Foram realizadas as seguintes análises físicas, físico-químicas e químicas para as polpas de pitanga obtidas manualmente (Polpa padrão) e no mais eficiente despulpador de escala piloto, de acordo com os parâmetros de qualidade citados no item 2.2.2.

- Teor de Polpa: determinado através de centrifugação do suco em tubos graduados por 10 minutos a 400xg segundo metodologia descrita por Reed, Hendrix Jr. e Hendrix (1986);
- pH: medido em potenciômetro da marca Micronal mod. B-374, calibrado com soluções-tampão nos pHs 4 e 7 a 20°C, segundo método nº981.12 da AOAC (1997);
- Sólidos Solúveis (como °Brix): baseado na leitura direta dos graus Brix da amostra a 20°C em refratômetro digital da marca LEICA, mod. AR200;
- Sólidos Totais: determinado por secagem em estufa a vácuo da marca VWR Scientific Products mod. 1400E, a 65°C segundo método nº920.151 da AOAC (1997);
- Acidez Total Titulável: segundo método nº942.15 da AOAC (1997), e expressa em porcentagem de ácido cítrico;
- Açúcares Redutores e Totais: titulação de oxi-redução (Lane e Eynon) segundo método nº31.034-6 da AOAC (1984), com auxílio de equipamento Redutec TE086 da marca TECNAL;
- Proteína Total: segundo o método nº920.152 da AOAC (1997) (Kjeldahl);
- Lipídios Totais: de acordo com método de Bligh e Dyer (1959);

- Cinza Total: método gravimétrico nº 940.26 da AOAC (1997);
- Ácido Ascórbico: método nº43.065 da AOAC (1984), modificado por Benassi (1990), que se baseia na redução de 2,6-diclorofenolindofenol-sódico (DCFI) pelo ácido ascórbico;
- Antocianinas Totais: segundo a metodologia descrita por Fuleki e Francis (1968), que consiste da extração dos pigmentos de 50ml de amostra com 50ml de um reagente de extração (Etanol:HCl 1,5N) na proporção de 85:15, durante 12 horas sob refrigeração. Após a extração realizou-se a leitura em espectrofotômetro BECKMAN mod. DU70 da amostra previamente filtrada, na faixa de comprimento de onda entre 510-550nm;
- Carotenóides Totais: segundo método descrito por Rodriguez-Amaya (1999), utilizando para a quantificação o pico de absorbância máximo encontrado na faixa de comprimento de onda entre 400 a 700 nm;
- Taninos Totais: baseia-se na redução do ácido fosfomolibdico-fosfotungstico pelo tanino em meio básico, produzindo uma coloração azul forte, que é medida espectrofotometricamente a 760 nm, segundo Amerine e Ough (1988);
- Atividade de água (Aw): medida direta em higrômetro elétrico AQUA LAB mod. CX-2T, na temperatura de 20°C;
- Composição Mineralógica: a polpa de pitanga foi previamente liofilizada para a realização da digestão nítrico-perclórica (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, manganês, zinco e ferro) e por via seca (boro). Fósforo e boro foram quantificados por colorimetria, potássio por fotometria de chama, enxofre por turbidimetria, e cálcio, magnésio, cobre, manganês, zinco e ferro por espectrofotometria de absorção atômica, segundo Sarruge e Haag (1974);
- Determinação Instrumental de Cor: a cor foi avaliada através de um espectrofotômetro Colorquest Hunterlab, usando um sistema de leitura CIELAB para reflectância especular incluída, conferindo os seguintes padrões de calibração:

nº C6299 de março de 1996, D₆₅/10º Branco X7746 Y8208 Z8838

nº C6299G de março de 1996, D₆₅/10º Cinza X4771 Y5083 Z5494

As amostras foram colocadas em cubeta de vidro opticamente limpo com 10 mm de caminho óptico. Foi calculada a diferença total de cor (ΔE^*) de acordo com a equação:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

onde: Δ é a diferença entre cada parâmetro de cor da amostra controle e a amostra submetida aos processos de extração.

2.2.4. Análise sensorial

A aceitação das polpas de pitanga foi avaliada através da formulação de um néctar com 20°Brix (50% de polpa de pitanga, 50% de água filtrada), aplicando-se o teste de escala hedônica não-estruturada para os atributos aparência, aroma e sabor, de acordo a metodologia descrita por Stone e Sidel (1985). A equipe de 40 provadores, consumidores de sucos e néctares de frutas tropicais e não treinados, foi recrutada dentre alunos, funcionários e professores da Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP).

A formulação do néctar de pitanga empregada foi previamente escolhida por uma equipe de 12 consumidores entre cinco formulações, sendo essas constituídas por 50% de polpa de pitanga, 50% de água filtrada e adições crescentes de açúcar refinado para atingir diferentes níveis de doçura no produto (14, 16, 18, 20 e 22°Brix).

As amostras foram apresentadas em cabines individuais, de forma monádica e casualizada, a temperatura de refrigeração (10°C) e em copos plásticos descartáveis de 50ml, codificados com algarismos de três dígitos.

Os resultados dos testes de aceitação sensorial foram analisados por Análise de Variância (ANOVA) e teste de médias de Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do programa *Statistica*® versão 5.0 (STATSOFT INC., 1995).

2.2.5. Análise estatística dos resultados

As análises físicas e físico-químicas foram realizadas em triplicata (média \pm desvio padrão), e os valores obtidos no estudo de extração de polpa foram avaliados com o auxílio do programa *Statistica*® versão 5.0 (STATSOFT INC., 1995) empregando as seguinte metodologias estatísticas:

- Análise de variância (ANOVA) a 5% de significância estatística segundo o teste F;
- Teste de Tukey ($p \leq 0,05$);

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. DETERMINAÇÃO DAS PORCENTAGENS DE POLPA E SEMENTE NOS FRUTOS DE PITANGA *IN NATURA*

Na Tabela 2.1 são mostrados os resultados das porcentagens de polpa e semente dos frutos de pitanga *in natura*.

Tabela 2.1. Porcentagens médias de polpa e semente dos frutos de pitanga *in natura*.

Constituinte do Fruto	(%)
Polpa	66,64±2,55
Sementes	33,36±2,55

* Média ± desvio padrão.

O rendimento de polpa nos frutos de pitanga (66,64±2,55%) apresentou valor semelhante ao encontrado por Villachica (1996), que foi 66,2%, e diferiu do valor obtido por Lederman, Bezerra e Calado (1992), de 77,2%.

Bezerra et al. (1997) realizaram estudo experimental com mudas de pitanga provenientes do banco de germoplasma da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA e observaram que a pitangueira adaptou-se muito bem às condições climáticas da região da Zona da Mata (PE) devido às características de crescimento da planta, produção e qualidade dos frutos. Dentre as seleções de maior produtividade de frutos, a IPA-3.2 apresentou a maior quantidade de polpa (87,6%) na constituição dos frutos.

3.2. ANÁLISES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E QUÍMICAS DA POLPA DE PITANGA PADRÃO

Na Tabela 2.2 são apresentados os resultados da caracterização da polpa de pitanga obtida manualmente (Polpa padrão).

Tabela 2.2. Caracterização física, físico-química e química da polpa de pitanga padrão.

Parâmetro	Valor*
Teor de Polpa (%)	88,63±1,67
pH	3,33±0,02
Acidez Total Titulável (g de ácido cítrico/100g)	1,28±0,01
Sólidos Solúveis (como °Brix)	11,67±0,15
Sólidos Totais (%) ¹	14,56±0,02
Açúcares Redutores (g glicose/100g)	7,80±0,03
Açúcares Totais (g glicose/100g)	7,97±0,13
Proteína Total(g/100g)	0,68±0,02
Lipídios Totais (g/100g)	0,49±0,09
Cinza Total (g/100g)	0,37±0,02
Ácido Ascórbico (mg/100g)	q.n.d. ²
Antocianinas Totais (mg/100g)	1,54±0,24
Carotenóides Totais (µg/g) ³	121,71±0,87
Taninos Totais (mg ácido tânico/100g)	80,32±3,37
Atividade de água (Aw)	0,992±0,001

* Média ± desvio padrão (base úmida).

¹ Determinado por secagem em estufa à vácuo, a 65°C (método n°920.151 da AOAC, 1997).

² q.n.d.: quantidade não detectável.

³ µg referente ao licopeno/g (A^{1%}_{1cm} licopeno em éter de petróleo = 3450).

De acordo com Lederman, Bezerra e Calado (1992), os frutos avermelhados são mais ricos em sólidos solúveis que os frutos de coloração alaranjada, com valores de 9,5°Brix e 6,1°Brix, respectivamente. O valor de sólidos solúveis encontrado (11,67°Brix) (Tabela 2.2) apresentou-se acima do citado por Lederman, Bezerra e Calado (1992), considerando que os frutos utilizados neste trabalho apresentaram coloração avermelhada.

A composição dos açúcares totais da polpa de pitanga (Tabela 2.2) apresentou cerca de 97,9% de açúcares redutores e 2,1% de açúcares não redutores.

Na polpa estudada não foi detectada presença de ácido ascórbico. De acordo com a literatura a pitanga não é considerada uma rica fonte de vitamina C. Lima et al. (2000) encontraram um teor de vitamina C em pitangas avermelhadas de 72,80mg/100g, Mélo, Lima e Nascimento (2000) reportaram valores de vitamina C de 42,9mg/100g em frutos maduros, enquanto Villachica (1996) encontrou um teor de vitamina C de 14mg/100g.

A grande variação dos resultados de vitamina C em frutas pode ser explicada pelos diversos fatores que afetam a síntese e retenção do ácido ascórbico, tais como: variedade, fatores ambientais, principalmente insolação, e tratos culturais (DIB TAXI, 2001).

Com relação aos pigmentos, antocianinas e carotenóides, observou-se um teor de antocianinas totais de $1,54 \pm 0,24 \text{ mg}/100 \text{ g}$ (Tabela 2.2). Lima et al. (2000) encontraram em pitangas vermelho-alaranjadas um teor de antocianinas totais de $0,62 \pm 0,11 \text{ mg}/100 \text{ g}$. O elevado teor de carotenóides totais ($121,71 \pm 0,87 \mu\text{g}/\text{g}$) (Tabela 2.2) demonstra que a pitanga é uma ótima fonte de compostos pro-vitamínicos A e antioxidantes. O cálculo do teor de carotenóides totais leva em conta somente o pico de absorção máxima (λ_{max}) e utiliza o coeficiente de absorção ($A^{1\%}_{1\text{cm}}$) do principal carotenóide presente na amostra, que no caso foi o licopeno.

Lima, Mélo e Lima (2002) encontraram um teor de carotenóides totais de $104 \pm 0 \mu\text{g}/\text{g}$ em frutos de pitanga de coloração vermelha, considerando o coeficiente de absorção ($A^{1\%}_{1\text{cm}}$) do β -caroteno.

Cavalcante (1991) determinou um teor total de carotenóides na polpa de pitanga de $225,9 \mu\text{g}/\text{g}$, utilizando a técnica de separação dos carotenóides em coluna de vidro aberta empacotada com MgO:Hyflosupercel (1:2) e somatório dos teores de cada carotenóide presente utilizando os respectivos coeficientes de absorção ($A^{1\%}_{1\text{cm}}$).

O teor de taninos encontrado na polpa de pitanga ($80,32 \pm 3,37 \text{ mg}$ ácido tânico/100g) encontra-se abaixo do valor reportado por Guimarães et al. (1983), que foi de $122 \text{ mg}/100 \text{ g}$, para polpa de pitanga obtida de frutos provenientes do Estado de Pernambuco.

Muitas frutas contêm quantidades consideráveis de ácidos fenólicos, flavonóides, flavonóis e taninos. Estas substâncias têm revelado propriedades funcionais fisiológicas importantes, como a proteção de órgãos e tecidos contra o estresse oxidativo e a carcinogênese (SGARBIERI; PACHECO, 1999). Por outro lado, sua ação protetora estaria associada à diminuição da palatabilidade, devido o sabor adstringente (TIRAPEGUI; CASTRO, 2001).

Os teores médios dos minerais da polpa de pitanga são mostrados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Teores médios dos minerais da polpa de pitanga.

Macrominerais (mg/100g)*					
N	P	K	Ca	Mg	S
108,29±3,14	17,50±0,18	129,75±4,48	25,75±0,44	8,38±0,44	5,83±0,00
Microminerais (mg/100g)*					
B	Cu	Fe	Mn	Zn	
0,30±0,00	0,08±0,00	0,45±0,02	0,09±0,00	0,41±0,02	

* Média ± desvio padrão (base úmida).

3.3. ESTUDO DOS PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DA POLPA DE PITANGA

Os resultados dos rendimentos do processo de extração e quebra de sementes são mostrados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4. Rendimento e quebra de sementes da polpa de pitanga extraída nos despulpadores de pás e escovas.

Despulpador	Rendimento (%)*	Quebra de Sementes (n° partículas/g)*
Pás	46,61±1,80	10,80±3,00
Escovas	58,47±3,92	1,00±0,3

* Média ± desvio padrão.

Comparando-se os rendimentos (Tabela 2.4), observou-se que o despulpador de escovas obteve 11,86 pontos percentuais (em relação à média) a mais de rendimento do que o despulpador de pás. Considerando o teor médio de polpa nos frutos de 66,64% (Tabela 2.1), o resíduo da extração obtido no despulpador de pás continha 20,03% em média de polpa, enquanto que o resíduo proveniente da extração no equipamento de escovas apresentou somente 8,17%, em média.

Além disso, outra característica importante no processamento de polpa de frutas é a adaptabilidade dos frutos ao processo de extração, onde se deve alcançar a mínima quebra de sementes a fim de que ocorra uma menor liberação das enzimas presentes nestas para a polpa extraída. De acordo com a Tabela 2.4, a polpa obtida no despulpador de pás apresentou um número de partículas de sementes cerca de 10,8 vezes (em média) maior do que a polpa processada no despulpador de escovas.

Os resultados da presença de sementes na polpa evidenciam que o despulpador de pás provocou significativamente a quebra das sementes durante o processamento da polpa de pitanga, pois este equipamento baseia-se na desintegração dos frutos e pressão sobre a polpa. O despulpador de escovas apresentou grande eficiência (maior rendimento e menor quantidade de sementes na polpa), e isto se deve ao processo de abrasão dos frutos, pressionados de encontro à superfície da peneira pelas cerdas das escovas. Em ambos os equipamentos, a eficiência do processo depende do diâmetro de peneira e da distância entre os braços e a peneira. Quanto menor o diâmetro dos furos da peneira, mais refinada será a polpa; e quanto menor a distância entre os braços e a peneira, maior será a pressão sobre o produto.

Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* das polpas extraídas nos despulpadores de pás e escovas e da polpa padrão são mostrados na Tabela 2.5. Os resultados obtidos mostraram diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) para os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* entre as amostras de polpa padrão e submetidas aos dois processos de extração.

Tabela 2.5. Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) e diferença total de cor (ΔE^*) das polpas obtidas nos despulpadores de pás e escovas em relação à polpa padrão.

Amostra	L^*	a^*	B^*	ΔE^*
Polpa padrão	38,62±0,05 ^b	23,77±0,21 ^b	17,15±0,09 ^b	-
Pás	41,72±0,13 ^a	25,99±0,06 ^a	20,68±0,12 ^a	5,19±0,33 ^a
Escovas	37,54±0,03 ^c	20,67±0,05 ^c	15,62±0,11 ^c	3,63±0,29 ^b

* Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

Verificou-se que os valores de ΔE^* (pás e escovas) foram estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$) entre si, e a amostra proveniente do processamento de pás obteve o maior valor de ΔE^* em relação ao padrão (Figura 2.1).

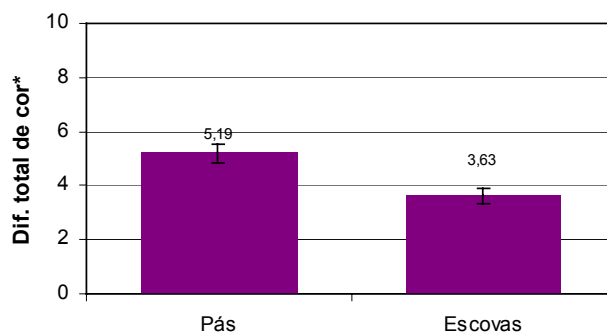


Figura 2.1. Diferença total de cor (ΔE^*) das amostras de polpa de pitanga obtidas nos despulpadores de pás e escovas.

Através dos resultados da análise de cor, em especial do parâmetro ΔE^* , observa-se que o tipo de despulpador pode influenciar significativamente na cor do produto final. Mais uma vez, relata-se que a quebra de sementes durante despulpamento de frutas proporciona a liberação de inúmeros compostos, tais como enzimas e compostos fenólicos, que podem provocar em maior ou menor grau alterações de cor, aroma e sabor.

As mudanças de cor em sucos e polpas de frutas ocorrem devido a um grande número de diferentes reações, tais como as reações enzimáticas, não enzimáticas e de degradação da vitamina C, que provocam escurecimento. Em especial, os carotenóides e as antocianinas, compostos responsáveis pela cor de diversas frutas, são muito susceptíveis às reações de oxidação (VARNAM; SUTHERLAND, 1994).

De acordo com os resultados de rendimento, quebra de sementes e cor instrumental, pode-se concluir que o despulpador de escovas foi o melhor equipamento de extração de polpa para os frutos de pitanga.

Na Tabela 2.6 são mostrados os resultados da avaliação microbiológica das polpas de pitanga extraídas nos equipamentos de pás e escovas.

Tabela 2.6. Avaliação microbiológica das polpas de pitanga extraídas nos despoldadores de pás e escovas.

Amostra	Contagem Total (UFC/g)	Bolores e Leveduras (UFC/g)	Coliformes Totais (NMP/g)	Coliformes Fecais (NMP/g)
Pás	1,2x10 ² (est.)	2x10 ² (est.)	<0,3	<0,3
Escovas	1,2x10 ² (est.)	1,15x10 ³	<0,3	<0,3

UFC – unidade formadora de colônias.

est. – contagem estimada (contagem inferior à contagem significativa do meio).

De acordo com Brasil (2000), a polpa de fruta *in natura*, congelada ou não, deverá observar os limites máximos microbiológicos: 5x10³ UFC/g para a soma de bolores e leveduras e 1NMP/g para coliforme fecal. Comparando os resultados microbiológicos obtidos (Tabela 2.6) com os valores máximos permitidos pela legislação vigente, conclui-se que ambas as polpas encontram-se adequadas para consumo.

Os sucos e polpas de frutas apresentam como características gerais: elevada atividade de água (>0,95), potencial de oxidação positivo e baixo pH (geralmente inferior a 4,0). Destes fatores, a elevada acidez restringe acentuadamente a microflora potencialmente deterioradora, que se limita principalmente às bactérias lácticas e acéticas, bolores e leveduras. Estas últimas se constituem no principal agente de deterioração de sucos de frutas, sendo que pelos resultados obtidos pela “National Soft Drink Association” dos Estados Unidos da América, a qual, com base em levantamentos efetuados durante vários anos, conclui que 90% dos casos de deterioração em bebidas não-alcoólicas deviam-se à presença de leveduras (UBOLDI EIROA, 1989).

Também foram avaliados os atributos sensoriais das polpas obtidas nos equipamentos de pás e escovas. Segundo a Tabela 2.7, não houve diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) para os atributos aroma e sabor entre as polpas processadas nos equipamentos de pás e escovas. No entanto, o mesmo não foi observado para o atributo aparência. Esta diferença significativa ($p \leq 0,05$) para a aparência pode estar correlacionada à diferença de cor obtida na análise instrumental.

Tabela 2.7. Aceitação sensorial dos atributos aparência, aroma e sabor das amostras de polpa de pitanga extraídas nos despoldadores de pás e escovas (valores em notas).

Amostra	Atributo		
	Aparência	Aroma	Sabor
Pás	7,24±1,57 ^b	6,79±1,99 ^a	6,69±1,71 ^a
Escovas	6,49±1,50 ^a	6,5±1,67 ^a	6,28±1,97 ^a

* Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

3.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA E QUÍMICA DA POLPA DE PITANGA OBTIDA NO DESPOLDADOR DE ESCOVAS

A caracterização físico-química da polpa de pitanga extraída no despoldador de escovas é apresentada na Tabela 2.8.

Tabela 2.8. Caracterização física, físico-química e química da polpa de pitanga extraída no despoldador de escovas.

Parâmetro	Valor*
pH	3,27±0,01
Acidez Total Titulável (g de ácido cítrico/100g)	1,24±0,01
Sólidos Solúveis (como °Brix)	11,47±0,06
Sólidos Totais (%) ¹	12,41±0,03
Açúcares Redutores (g glicose/100g)	7,65±0,11
Açúcares Totais (g glicose/100g)	7,77±0,22
Ácido Ascórbico (mg/100g)	q.n.d. ²
Antocianinas Totais (mg/100g)	0,00
Carotenóides Totais (µg/g) ³	123,73±1,17

* Média ± desvio padrão (base úmida).

¹ Determinado por secagem em estufa à vácuo, a 65°C (método n°920.151 da AOAC, 1997).

² q.n.d.: quantidade não detectável.

³ µg referente ao licopeno/g ($A^{1\%}_{1\text{cm}}$ licopeno em éter de petróleo = 3450).

Como se pode observar na Tabela 2.8, não foi detectada presença de ácido ascórbico na polpa de pitanga e, por isso, a formulação de *blends* de pitanga com outros frutos ricos em vitamina C, como por exemplo, a acerola, é uma alternativa interessante.

Vitamina C, compostos fenólicos e carotenóides são eficientes antioxidantes naturais que reduzem a velocidade de iniciação ou previnem a propagação de radicais livres (KITTS, 1997; GARDNER et al., 2000).

Segundo Sgarbieri e Pacheco (1999), dentre as frutas, deve-se dar preferência às fortemente pigmentadas como manga, pêssago, acerola, mamão, melão (amarelo), goiaba, mangaba, etc., por conterem β -caroteno e outros carotenóides, além de elevados teores de vitamina C.

Na polpa de pitanga extraída no equipamento de escovas não foi detectada presença de antocianinas totais, visto que na polpa padrão o teor deste pigmento era muito baixo, e provavelmente, durante o processo de extração de polpa houve oxidação destes compostos.

Com relação aos carotenóides totais, não foi observada variação significativa ($p>0,05$) entre o teor encontrado na polpa padrão e na polpa extraída no despulpador de escovas.

4. CONCLUSÕES

- O despulpador de escovas proporcionou maior rendimento de extração e menor alteração de cor na polpa de pitanga.

- O processo de despulpamento no equipamento de escovas, em escala piloto, não provocou alteração no teor de carotenóides totais da polpa de pitanga.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERINE, M. A.; OUGH, C. S. **Methods for analysis for mustos and wines**. New York: John Wiley & Sons (Ed.), 1988, p. 204-205.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 14. ed. Arlington: Sidney Williams (Ed.), 1984. 1141 p.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaithersburg: Patricia Cunniff (Ed.), 1997.

BENASSI, M. T. **Análise dos estudos de diferentes parâmetros na estabilidade de vitamina C em vegetais processados**. 1990. 159p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

BEZERRA, J. E. F.; PREITAS, E. V. de; PEDROSA, A. C.; LEDERMAN, I. E.; DANTAS, A. P. Performance of surinam cherry (*Eugenia uniflora* L.) in Pernambuco, Brazil. II – Productive period 1989 – 1995. **Acta Horticulturae**, Vitória, n. 452, p. 137-142, 1997.

BEZERRA, J. E. F.; SILVA JR., J. F. da; LEDERMAN, I. E. **Pitanga (*Eugenia uniflora* L.)**. Jaboticabal: Funep, 2000. 30 p. (Série Frutas Nativas 1).

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, Ottawa, v. 46, n. 1, p. 31-37, 1959.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. Diário Oficial da União. Brasília, 10 de janeiro de 2000. Anexo II.

CAVALCANTE, M. L. **Composição de carotenóides e valor de vitamina A em pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e acerola (*Malpighia glabra* L.)**. 1991. 86 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

CEZAR, G. M.; MELO, H. N. S.; JERÔNIMO, C. E. M.; FURTUNATO, A. A.; SANTIAGO JR., A. F.; OLIVEIRA, V. G. Estudo de caso da geração de resíduos na industrialização de polpas de frutas. In: XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. **Anais**. Porto Alegre, 2002.

DIB TAXI, C. M. A. **Suco de camu-camu (*Myrciaria dubia*) microencapsulado obtido através de secagem por atomização**. 2001. 166p. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 33, n. 1, p. 72-77, 1968.

GARDNER, P. T.; WHITE, T. A. C.; McPHAIL, D. B.; DUTHIE, G. G. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. **Food Chemistry**, Oxford, v. 68, n. 4, p. 471-474, 2000.

GOMES, R. P. **Fruticultura brasileira**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1975. 446p.

GUIMARÃES, F. A.; HOLANDA, L. F. F.; MAIA, G. A.; MOURA FÉ, J. A. Estudos analíticos e físicos em polpa e semente de pitanga (*Eugenia uniflora* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 208-215, 1982.

GUIMARÃES, F. A.; HOLANDA, L. F. F.; MAIA, G. A.; MOURA FÉ, J. A. Contribuição tecnológica ao processamento e conservação da polpa de pitanga (*Eugenia uniflora* L.). **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 01-13, 1983.

KITTS, D. D. An evaluation of the multiple effects of the antioxidant vitamins. **Trends in Food Science and Technology**, Oxford, v. 8, p. 198-203, 1997.

LEDERMAN, I. E.; BEZERRA, J. E. F.; CALADO, G. **A pitangueira em Pernambuco**. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA, 1992. 20p.

LIMA, V. L. A. G. de; MÉLO, E. A.; LIMA, L. S.; NASCIMENTO, P. P. Estudo comparativo das características físico-químicas de duas seleções de pitanga (*Eugenia uniflora* L.). In: **Anais do XVII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, p. 5.22, Fortaleza, 2000.

LIMA, V. L. A. G. de; MÉLO, E. A.; LIMA, D. E. S. Fenólicos e carotenóides totais em pitanga. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 447-450, 2002.

MÉLO, E. A.; LIMA, V. L. A. G.; NASCIMENTO, P. P. Temperatura no armazenamento de pitanga. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 629-634, 2000.

REED, B. J.; HENDRIX JR., C. M.; HENDRIX, D. L. **Quality control manual for citrus processing plants**. Florida: Intercit, 1986. v.1.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Press, 1999. 64p.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ/UPS, 1974, 56p.

SGARBIERI, V. C.; PACHECO, M. T. B. Revisão: alimentos funcionais fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. 1,2, p. 7-19, 1999.

STATSOFT, INC. (1995). **STATISTICA for Windows** [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104, (918) 583-4149, fax: (918) 583-4376.

STONE, H. S.; SIDEL, J. L. Affective testing. In: STONE, H. S.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**, Florida: Academic Press, Cap. 7, 1985. p. 227-252.

TIRAPEGUI, J.; CASTRO, I. A. Taninos na dieta humana: aspectos funcionais. In: DE ANGELIS, R. C. **Importância de alimentos vegetais na proteção da saúde: fisiologia da nutrição protetora e preventiva de enfermidades degenerativas**, São Paulo: Editora Atheneu, 2001. p. 253-265.

UBOLDI EIROA, M. N. Microorganismos deteriorantes de sucos de frutas e medidas de controle. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3/4, p. 141-160, 1989.

VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D. F. (Ed). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 3 ed. Washington: APHA, 1992, 1087p.

VARNAM, A. H.; SUTHERLAND, J. P. **Beverages: technology, chemistry and microbiology**. London: Chapman and Hall, p. 27-71, 1994.

VILLACHICA, H. **Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia**. Tratado de Cooperacion Amazonica. p. 228-213, 1996.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DA ESTABILIDADE DA POLPA DE PITANGA (*Eugenia uniflora* L.) SOB CONGELAMENTO

RESUMO

Muitas indústrias processadoras de polpa de frutas utilizam o processo de congelamento como único método de conservação, sem o uso de tratamentos térmicos, como o branqueamento ou a pasteurização. Dentre as frutas tropicais, a pitanga, ainda muito pouco estudada, apresenta um grande apelo sensorial e uma excelente qualidade vitamínica devido seu elevado teor de carotenóides. Este trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade da polpa de pitanga preservada por congelamento (-18°C) durante 90 dias, através das análises de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis, sólidos totais, açúcares redutores e totais e aceitação sensorial nos tempos 0, 30, 60, 90 dias, e carotenóides totais e cor instrumental, nos tempos 0, 15, 30, 45, 60 e 90 dias. Os dados obtidos mostram que a reação cinética da degradação do parâmetro de cor a^* se ajusta melhor ao modelo cinético de 1ª ordem ($R^2=91,69\%$). No entanto, para a diferença total de cor (ΔE^*) há uma melhor adequação ao modelo de ordem zero ($R^2=91,91\%$). Da análise sensorial, o atributo aparência variou significativamente ($p \leq 0,05$) aos 90 dias de estocagem, por causa da separação parcial de fases e mudança de cor. Por isso, houve uma forte queda na aceitabilidade sensorial e na atitude positiva de compra do néctar formulado com a polpa de pitanga armazenada por 90 dias a -18°C.

Palavras-chave: polpa de pitanga, estabilidade, cor, sensorial

STUDY OF THE STABILITY OF FROZEN PITANGA (*Eugenia uniflora* L.) PULP

SUMMARY

Many fruit pulp processing industries employ freezing as the sole means of preservation, without the use of heat treatments such as blanching or pasteurisation. Amongst tropical fruits, the pitanga (*Eugenia uniflora* L.), still little studied, shows great sensory appeal and excellent vitamin quality, due to its high carotenoid level. The objective of this study was to evaluate the stability of pitanga pulp during 90 days frozen storage (-18°C) with respect to the following parameters: pH, total titratable acidity, soluble and total solids, total and reducing sugars and sensory acceptance determined after 0, 30, 60 and 90 days, and total carotenoid contents and instrumental colour measured after 0, 15, 30, 45, 60 and 90 days frozen storage. The data obtained showed that the reaction kinetics for the degradation of the colour parameter a^* adjusted better to a 1st order kinetic model ($R^2=91.69\%$), whereas the total difference in colour (ΔE^*) adjusted better to a zero order kinetic model ($R^2=91.91\%$). In the sensory analysis, the attribute of appearance varied significantly ($p \leq 0.05$) after 90 days of frozen storage, due to a partial phase separation and colour change. Thus there was a marked fall in sensory acceptance and in the positive attitude towards buying of the nectar formulated with pitanga pulp stored for 90 days at -18°C.

Key words: pitanga pulp, stability, colour, sensory analysis

1. INTRODUÇÃO

Modernamente, os alimentos processados devem atender a certos objetivos que incluem a sua boa qualidade sensorial, o uso mínimo de aditivos, a utilização de processos menos danosos, a garantia do valor nutritivo, a estabilidade por longo tempo, a conveniência quanto à preparação e uso e um custo compatível (TEIXEIRA NETO, 2002).

O congelamento é um dos processos mais indicados para a preservação das propriedades químicas, nutricionais e sensoriais; no entanto, apresenta custos de produção, transporte e armazenamento relativamente elevados.

Os alimentos congelados, assim como quaisquer outros alimentos, são susceptíveis à deterioração durante estocagem, como mostrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Tipos de deterioração dos alimentos congelados.

Alimentos congelados	Tipos de deterioração
Carnes, frango e pescado	Rancidez Desnaturação das proteínas Descoloração Queima pelo frio
Frutas e vegetais	Perda de nutrientes (vitaminas) Perda da textura Perda de sabor (lipoxigenase, peroxidase) Perda de umidade nos tecidos Descoloração
Sucos concentrados	Perda de nutrientes (vitaminas) Perda de sabor Perda da turbidez Descoloração Crescimento de leveduras
Lácteos	Recristalização de cristais de gelo Cristalização da lactose Perda do sabor Instabilidade da emulsão
Produtos de panificação	Perda da capacidade fermentativa Perda de aroma Envelhecimento

Fonte: Fu e Labuza (1997).

Segundo Fu e Labuza (1997), os microorganismos não são considerados um grande problema em alimentos congelados, devido ao fato de estes não poderem crescer em temperaturas usuais de congelamento (-18°C); no entanto, a ação das enzimas nos

alimentos congelados é preocupante, pois pode causar alterações de cor e sabor em frutas e vegetais.

A estabilidade dos carotenóides difere bastante nos alimentos, mesmo quando submetidos a processamento e condições de estocagem idênticas. A principal causa de destruição dos carotenóides é a oxidação (enzimática ou não-enzimática). O processo de congelamento, especialmente o congelamento rápido, e a estocagem sob temperaturas de congelamento geralmente propiciam a retenção dos carotenóides nos alimentos (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997).

De acordo com Faria (2002), a vida-de-prateleira de um alimento é o tempo em que ele pode ser conservado em determinadas condições de temperatura, umidade relativa, etc, sofrendo pequenas, mas bem estabelecidas alterações que são, até certo ponto, consideradas aceitáveis pelo fabricante, pelo consumidor e pela legislação vigente. Diante disso, além das análises físicas, físico-químicas e químicas, faz-se necessário o uso da análise sensorial para avaliar a vida-de-prateleira dos alimentos.

Hoje, a análise sensorial tem várias aplicações, tais como: controle e garantia da qualidade, desenvolvimento de novos produtos, testes de consumidores, estudos de percepção humana, correlação com medidas físicas, químicas, instrumentais, etc. (COSTELL; DURAN, 1981).

Como garantia de qualidade, os testes sensoriais são muito eficientes, já que são medidas multidimensionais integradas, possuindo importantes vantagens, tais como: ser capaz de identificar a presença ou ausência de diferenças perceptíveis, definir características sensoriais importantes de um produto de forma rápida e ser capaz de detectar particularidades que não podem ser detectadas por outros procedimentos analíticos (MUÑOZ; CIVILLE; CARR, 1992).

Este estudo objetivou avaliar a estabilidade da polpa de pitanga congelada durante um período de estocagem de 90 dias, através da monitoração de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis, sólidos totais, açúcares redutores e totais e aceitação sensorial nos tempos 0, 30, 60, 90 dias, e carotenóides totais e cor instrumental, avaliados nos tempos 0, 15, 30, 45, 60 e 90 dias.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL

2.1.1. Matéria-Prima

Polpa de pitanga obtida do despulpamento de frutos *in natura* de coloração avermelhada provenientes de Valinhos (SP).

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Condições de acondicionamento e estocagem da polpa de pitanga

A polpa de pitanga foi acondicionada em sacos plásticos retangulares de polietileno de baixa densidade com dimensões de 34x24,5cm (comprimento x largura) e espessura média de $0,117 \pm 0,001$ mm, considerando as duas faces da embalagem. As amostras foram submetidas ao processo de congelamento rápido em congelador de placas marca FRIGOSTRELLA DO BRASIL, mod. P.M-5 por 3 horas (-30°C) e armazenadas em câmara de estocagem (-18°C).

2.2.2. Análises físicas, físico-químicas e químicas da polpa congelada de pitanga

- pH: medido em potenciômetro da marca Micronal mod. B-374, calibrado com soluções-tampão nos pHs 4 e 7 a 20°C , segundo método n°981.12 da AOAC (1997);
- Acidez Total Titulável: segundo método n°942.15 da AOAC (1997), e expressa em porcentagem de ácido cítrico;
- Sólidos Solúveis (como °Brix): baseado na leitura direta dos graus Brix da amostra a 20°C em refratômetro digital da marca LEICA, mod. AR200;
- Sólidos Totais: determinado por secagem em estufa a vácuo da marca VWR Scientific Products mod. 1400E, a 65°C segundo método n°920.151 da AOAC (1997) e em analisador de umidade por infravermelho da marca GEHAKA, mod. IV 2002;
- Açúcares Redutores e Totais: titulação de oxi-redução (Lane e Eynon) segundo método n°31.034-6 da AOAC (1984), com auxílio de equipamento Redutec TE086 da marca TECNAL;

- Carotenóides Totais: segundo método descrito por Rodriguez-Amaya (1999), utilizando para a quantificação o pico de absorbância máximo encontrado na faixa do comprimento de onda entre 400 a 700 nm;
- Determinação Instrumental de Cor: a cor foi avaliada através de um espectrofotômetro Colorquest Hunterlab, usando um sistema de leitura CIELAB para reflectância especular incluída, conferindo os seguintes padrões de calibração:
 - nº C6299 de março de 1996, D₆₅/10º Branco X7746 Y8208 Z8838
 - nº C6299G de março de 1996, D₆₅/10º Cinza X4771 Y5083 Z5494

As amostras foram colocadas em cubeta de vidro opticamente limpo com 10 mm de caminho óptico. Foi calculada a diferença total de cor (ΔE^*) de acordo com a equação 3.1:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.1)$$

onde: Δ é a diferença entre cada parâmetro de cor da amostra tempo zero (padrão) e a amostra armazenada a -18°C nos tempos 15, 30, 45, 60 e 90 dias.

2.2.3. Análise sensorial

A aceitabilidade da polpa de pitanga congelada foi avaliada por uma mesma equipe de 40 provadores, consumidores de sucos e néctares de frutas tropicais não treinados, recrutados dentre alunos, funcionários e professores da Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP). A polpa de pitanga foi avaliada na forma de um néctar com 20°Brix (50% de polpa de pitanga, 50% de água filtrada), aplicando-se os testes de escala hedônica não-estruturada, para os atributos aparência, aroma e sabor, e atitude de compra (5=certamente compraria, 3=tenho dúvidas se compraria ou não, 1=certamente não compraria) (STONE; SIDEL, 1985). A amostra foi apresentada em cabine individual, a temperatura de refrigeração (10°C) e em copos plásticos descartáveis de 50ml, codificados com algarismos de três dígitos.

Os resultados dos testes de aceitação sensorial foram analisados por Análise de Variância (ANOVA) e teste de médias de Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do programa *Statistica*® versão 5.0 (STATSOFT INC., 1995).

Os resultados do teste de intenção de compra foram avaliados através da frequência das notas dadas pelos provadores.

2.2.4. Análise estatística dos resultados

Todas as análises físicas, químicas e físico-químicas foram realizadas em triplicata, e os valores obtidos foram avaliados com o auxílio do programa *Statistica*[®] versão 5.0 (STATSOFT INC., 1995) empregando as seguintes metodologias estatísticas:

- Análise de variância (ANOVA) a 5% de significância estatística segundo o teste F;
- Teste de Tukey ($p \leq 0,05$);
- Análise de regressão.

Os critérios utilizados para avaliar o modelo cinético de reação foram: coeficiente de determinação (R^2) e o desvio relativo médio (P), calculado pela equação 3.2. Segundo Lomauro, Bakshi e Labuza (1985), um valor de P menor que cinco corresponde a um bom ajuste da equação aos dados experimentais.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(V^{(obs)}_i - V^{(pred)}_i)|}{V^{(obs)}_i} \quad (3.2)$$

onde: $n = n^\circ$ de observações;

$V^{(obs)}_i$ = valor observado experimentalmente;

$V^{(pred)}_i$ = valor predito pelo modelo de regressão linear.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ESTUDO DE ESTABILIDADE DA POLPA DE PITANGA CONGELADA

3.1.1. Características físicas, físico-químicas e químicas da polpa de pitanga congelada

Na Tabela 3.2 são mostrados os resultados das análises físicas, físico-químicas e químicas realizadas durante 90 dias de estocagem da polpa de pitanga (-18°C).

Tabela 3.2. Caracterização física, físico-química e química da polpa de pitanga congelada durante estocagem.

Parâmetro	Tempo de estocagem (dias)			
	0	30	60	90
pH	3,27±0,01 ^c	3,39±0,01 ^b	3,40±0,01 ^a	3,40±0,00 ^a
Acidez Total Titulável (g ácido cítrico/100g)	1,24±0,01 ^a	1,25±0,01 ^a	1,24±0,02 ^a	1,25±0,01 ^a
Sólidos Solúveis (como °Brix)	11,47±0,06 ^a	10,97±0,06 ^b	10,90±0,00 ^b	10,73±0,06 ^c
Sólidos Totais (%)	12,29±0,14 ^a	12,28±0,04 ^a	12,20±0,12 ^a	12,20±0,02 ^a
Açúcares Redutores (g glicose/100g)	7,65±0,11 ^a	7,42±0,17 ^a	7,54±0,24 ^a	7,73±0,05 ^a
Açúcares Totais (g glicose/100g)	7,77±0,22 ^a	7,99±0,38 ^a	7,93±0,19 ^a	7,90±0,12 ^a

* Média±desvio padrão

** Médias com expoentes diferentes em uma mesma linha indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

Pode-se observar que houve uma pequena elevação do pH, de cerca de 3,98% em média, ocorrida entre os tempos zero e 90 dias. Segundo a metodologia estatística empregada (Teste de Médias de Tukey) houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) do pH entre os tempos de estocagem estudados (Tabela 3.3). Esta diferença não pode ser considerada importante, pois para análises como pH e sólidos solúveis, onde a variação entre as replicatas é muito pequena, pequenas diferenças entre duas amostras geram estatisticamente diferença significativa ($p \leq 0,05$) no teste de Tukey.

Moura et al. (2001) acompanharam a vida-de-prateleira de polpas de morango sem e com açúcar, assepticamente embaladas e estocadas a temperatura de 35°C; e observaram que houve uma pequena diminuição do pH para ambas amostras. O pH da amostra sem açúcar variou de 3,71 para 3,56 aos 45 dias de estocagem, e da amostra com açúcar de 3,63 para 3,57 aos 30 dias de estocagem.

Segundo Brasil (2000), que determinou os padrões de identidade e qualidade para a polpa de pitanga, os limites mínimo e máximo de pH são respectivamente 2,5 e 3,4. Os valores de pH obtidos nos tempos 0, 30, 60 e 90 dias atendem aos padrões estabelecidos.

A acidez total titulável da polpa de pitanga não apresentou diferença estatística ($p > 0,05$) durante os 90 dias de estocagem (Tabela 3.2), como se pode observar nos valores obtidos nos tempos zero (1,24±0,01g ácido cítrico/100g) e 90 dias (1,25±0,01g ácido cítrico/100g).

O limite mínimo da acidez total da polpa de pitanga deve ser de 0,92g ácido cítrico/100g, não sendo estabelecido um limite máximo para este produto (BRASIL, 2000). Os valores encontrados durante o armazenamento da polpa de pitanga a -18°C estão acima deste limite, portanto, dentro do padrão estabelecido.

Os teores de sólidos solúveis da polpa de pitanga ao longo do período de estocagem são mostrados na Tabela 3.2, observando-se um decréscimo médio de 6,45% entre os valores medidos nos tempos de estocagem zero e 90 dias.

Brasil (2000) determinou o limite mínimo de sólidos solúveis para polpa de pitanga de 6°Brix a 20°C . A polpa de pitanga estudada apresentou teores de sólidos solúveis, durante o período de estocagem, superiores ao exigido pela legislação vigente.

O teor de sólidos totais da amostra no tempo zero foi determinado por duas metodologias diferentes: secagem em estufa a vácuo a 65°C (método nº920.151 da AOAC, 1997) e analisador de umidade por infra-vermelho da marca GEHAKA, mod IV 2002. Isto foi realizado com intuito de avaliar a possibilidade do uso do analisador de umidade por infravermelho para a polpa de pitanga no estudo de estocagem durante 90 dias a -18°C , visto que o tempo de análise gasto na metodologia de secagem por infravermelho é muito menor (30 minutos em média) que a metodologia de secagem em estufa a vácuo.

Os resultados obtidos para ambas metodologias de determinação de sólidos totais são apresentados na Tabela 3.3. Foi observado que não houve diferença estatística significativa ($p>0,05$) entre as metodologias utilizadas, que apresentaram elevada correlação linear ($R=0,9904$). Desta forma, as análises de sólidos totais durante estocagem de 90 dias foram realizadas em analisador de umidade por infravermelho, utilizando temperatura de 110°C e sistema de secagem “auto dry” com limite de variação da perda de umidade de 0,05%.

Tabela 3.3. Sólidos totais da polpa de pitanga segundo duas diferentes metodologias de análise.

Tempo de estocagem (dias)	Sólidos totais (g/100g)	
	Estufa à vácuo	Infra-vermelho
0	12,41 \pm 0,03 ^a	12,29 \pm 0,14 ^a

* Média \pm desvio padrão

** Médias com expoentes diferentes em uma mesma linha indicam diferença estatística ($p\leq 0,05$).

A temperatura de estocagem (-18°C) e o acondicionamento da polpa proporcionaram, logicamente, a manutenção do teor dos sólidos totais durante estocagem; e por isso, como pode ser visto na Tabela 3.2, não houve diferença significativa ($p>0,05$) deste parâmetro ao longo do período de estocagem.

A legislação vigente determina o limite mínimo de 7g/100g de sólidos totais na polpa de pitanga. Este limite estabelece um padrão de qualidade para polpas de frutas comercializadas, e objetiva evitar a fraude por diluição com água.

De acordo com a Tabela 3.2, os teores de açúcares redutores e totais não diferiram estatisticamente ($p>0,05$) durante estocagem por 90 dias a -18°C .

3.1.2. Carotenóides totais

De acordo com a Tabela 3.4, ocorreu uma significativa queda do teor de carotenóides totais nos primeiros 30 dias de estocagem. A partir deste período, foi verificada uma pequena variação destes pigmentos.

Perdas consideráveis dos carotenóides ocorreram em polpa de pitanga não branqueada, estocada por 90 dias a -18°C , indicando que houve oxidação enzimática (CAVALCANTE; RODRIGUEZ-AMAYA, 1995).

Tabela 3.4. Carotenóides totais da polpa de pitanga durante estocagem por 90 dias a -18°C .

Tempo de estocagem (dias)	Carotenóides totais ($\mu\text{g/g}$) ¹	Retenção de carotenóides totais (%)
0	123,73 \pm 1,17 ^a	100
15	117,14 \pm 1,25 ^b	94,68
30	106,71 \pm 0,30 ^d	86,24
45	109,67 \pm 0,89 ^c	88,64
60	107,04 \pm 1,22 ^{cd}	86,50
90	106,71 \pm 0,77 ^d	86,24

* Média \pm desvio padrão

** Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p\leq 0,05$).

¹ μg referente ao licopeno/g (A^{1%}_{1cm} licopeno em éter de petróleo = 3450).

Os carotenóides estão naturalmente protegidos nos tecidos das plantas. No entanto, quando frutas e vegetais são cortados ou desintegrados ocorre um aumento da exposição dos carotenóides ao oxigênio e contato com enzimas que catalisam o processo de oxidação (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997).

Mayer-Miebach e Spieß (2003) verificaram uma perda de 30% dos carotenóides totais em cenouras da variedade *kintoki*, após oito semanas de estocagem a 1°C.

Segundo Choi, Kim e Lee (2002), em estudo sobre a estabilidade dos pigmentos em suco de laranja (*blood orange*) armazenado em temperatura de refrigeração, os sucos sem e com adição de ácido ascórbico (30mg/100ml) apresentaram pequeno decréscimo dos carotenóides totais após sete semanas de estocagem, cerca de 6,6% e 2,8%, respectivamente.

Thakur e Arya (1988) estudaram os carotenóides em polpas de manga estocadas a -12°C, sem e com branqueamento, provenientes de três variedades comerciais. Os autores verificaram que houve perda mais elevada do total de carotenóides na polpa sem tratamento térmico.

3.1.3. Cor instrumental

Como pode ser visto na Tabela 3.5, houve decréscimo dos parâmetros L*, a* e b* (Figura 3.1) e aumento de ΔE^* ao longo do tempo de estocagem. Após os 90 dias de estocagem, observou-se que houve uma maior queda média de a* (16,1%), seguido de b* (11,1%) e L* (5,2%).

Desta forma, é confirmada a importância da coordenada de cromaticidade a* no estudo de estabilidade da polpa de pitanga, visto que este parâmetro está diretamente relacionado com os carotenóides presentes nesta fruta.

Para o estudo cinético da polpa de pitanga foram então utilizados o parâmetro de cor a* e a diferença total de cor (ΔE^*).

Tabela 3.5. Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) e diferença total de cor (ΔE^*) em relação ao padrão (tempo 0) da polpa de pitanga durante estocagem por 90 dias a -18°C .

Tempo de estocagem (dias)	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
0	37,54±0,03 ^a	20,67±0,05 ^a	15,62±0,11 ^a	-
15	36,96±0,02 ^b	20,12±0,04 ^b	15,01±0,02 ^b	1,00±0,07 ^a
30	36,67±0,03 ^c	19,32±0,10 ^c	14,56±0,19 ^c	1,92±0,08 ^b
45	36,19±0,03 ^d	18,20±0,06 ^d	14,33±0,03 ^{c,d}	3,09±0,03 ^c
60	35,85±0,12 ^e	17,54±0,07 ^e	14,09±0,06 ^{d,e}	3,87±0,08 ^d
90	35,60±0,05 ^f	17,35±0,02 ^e	13,89±0,04 ^e	4,18±0,02 ^e

* Média±desvio padrão

** Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

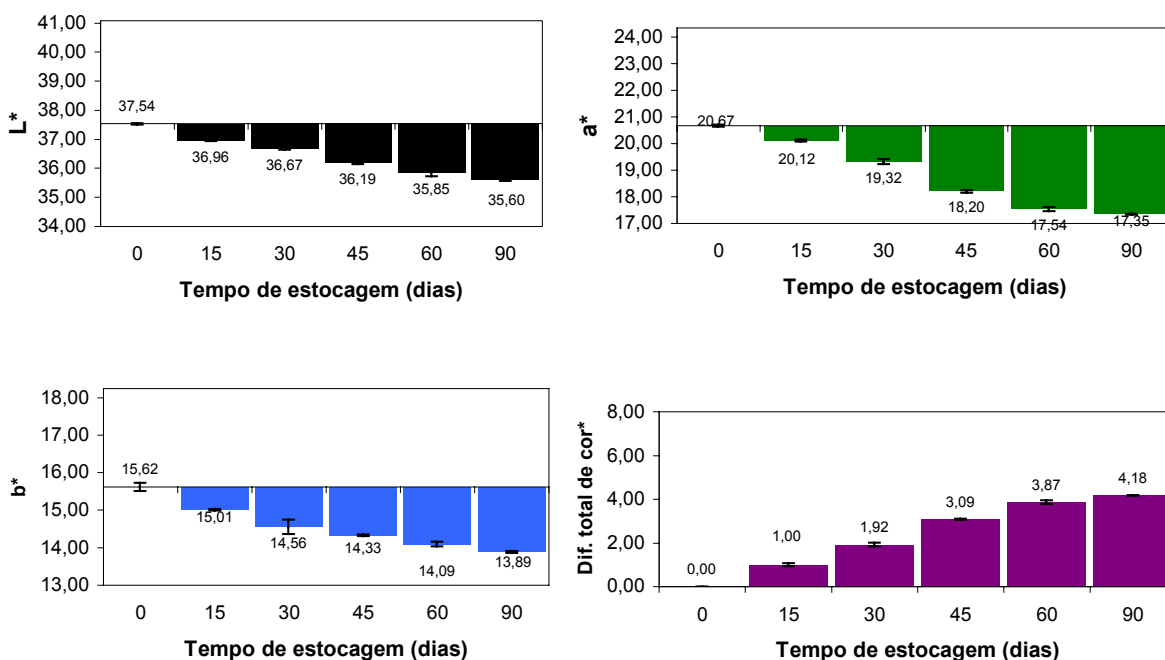


Figura 3.1. Variação da luminosidade (L^*), das coordenadas de cromaticidade (a^* e b^*) e diferença total de cor (ΔE^*) para a polpa de pitanga congelada durante 90 dias de estocagem.

De acordo com Taoukis, Labuza e Saguy (1997) e Labuza (1982), duas diferentes abordagens devem ser usadas alternativamente para definir o modelo cinético de uma reação. A primeira envolve o uso dos dados diretos obtidos experimentalmente, e requer idealmente alterações do parâmetro avaliado de 75%, ou um mínimo de 50%. A segunda abordagem trata de reações de pequeno grau de conversão (5%), e neste caso, faz-se

necessário o tratamento dos dados usando-se a razão do parâmetro em relação ao valor inicial.

Desta forma, a variação da coordenada a^* para a polpa de pitanga congelada ao longo do tempo de estocagem foi avaliada segundo os modelos de zero (Figura 3.2) e primeira ordem (Figura 3.3).

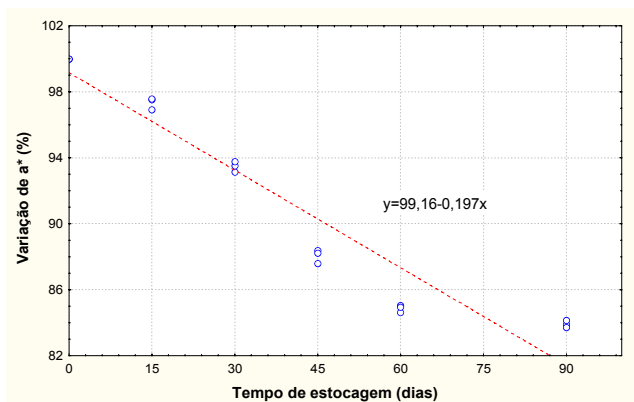


Figura 3.2. Modelo cinético de ordem zero da variação do parâmetro de cor a^* na polpa de pitanga congelada.

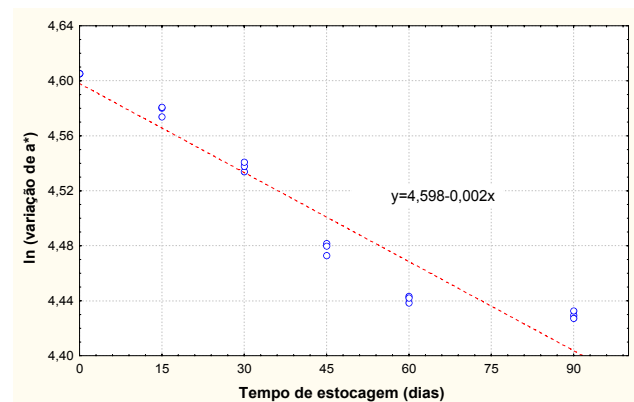


Figura 3.3. Modelo cinético de primeira ordem da variação do parâmetro de cor a^* na polpa de pitanga congelada.

Segundo Taoukis, Labuza e Saguy (1997), o coeficiente de determinação (R^2) da regressão linear, em muitos casos, é suficiente para a determinação da ordem aparente de reação e da equação de melhor ajuste. Ao mesmo tempo, deve-se ter cuidado quando a alteração estudada é menor que 50%, pois pode não haver diferenciação significativa dos ajustes aos modelos cinéticos de zero ou primeira ordem. Por outro lado, se o término da vida-de-prateleira referir-se a uma conversão de 20% , ambos os modelos serão válidos.

Como pode ser observado na Tabela 3.6, os valores de R^2 são muito próximos para ambos os modelos. No entanto, observa-se uma diferenciação melhor em relação ao valor do desvio relativo médio (P). Segundo este último critério, a variação de a^* da polpa de pitanga congelada é melhor ajustada ao modelo de primeira ordem.

Tabela 3.6. Parâmetros cinéticos e estatísticos da variação de a^* na polpa de pitanga congelada.

Ordem de reação aparente	Parâmetros cinéticos		Parâmetros estatísticos	
	k (dia ⁻¹)	T _{1/2} (dias)	R ² (%)	P (%)
0	0,197	251,68	91,23	1,79
1	0,002	346,57	91,69	0,37

Na Figura 3.4, verifica-se que o ajuste de primeira ordem apresenta maior aleatorização dos resíduos, e estes estão mais próximos do eixo do tempo ($y=0$). No ajuste de ordem zero, não se observa uma distribuição aleatória dos resíduos, ou seja, há uma concentração de resíduos positivos, nos tempos 0, 15 e 30 dias, e negativos, nos tempos 45 e 60 dias.

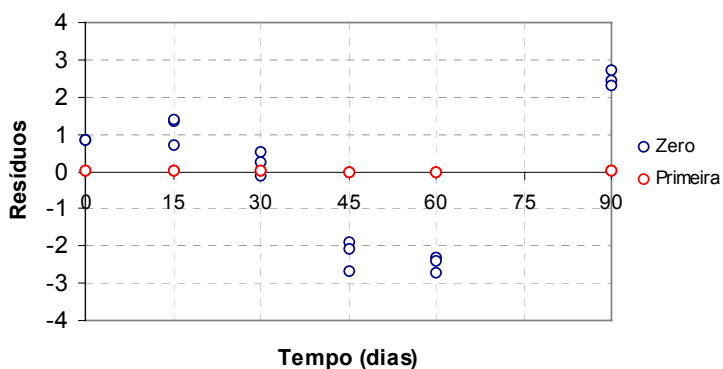


Figura 3.4. Distribuição dos resíduos para os modelos de zero e primeira ordem.

De acordo com Barros Neto, Scarminio e Bruns (2002), na análise de regressão é também fundamental o exame dos gráficos de resíduos para que se possa determinar qual modelo é o mais adequado.

O modelo cinético referente à diferença total de cor (Figura 3.5) apresentou melhor ajuste para a equação de ordem zero. O valor do coeficiente de determinação (R^2) obtido foi de 91,91%, e a constante da velocidade de reação (k) foi 0,049 dia⁻¹.

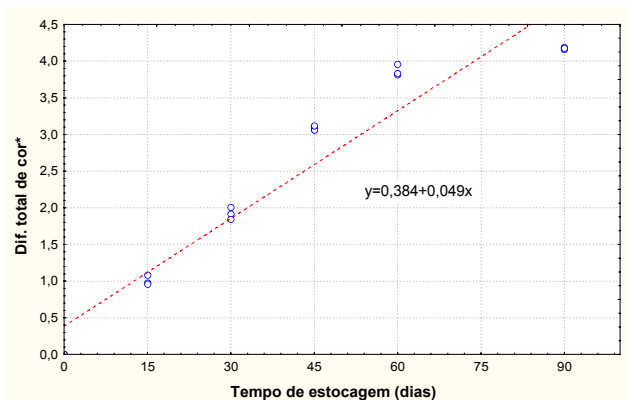


Figura 3.5. Modelo cinético da diferença total de cor da polpa de pitanga congelada por 90 dias - ordem zero.

3.1.4. Análise sensorial

Os resultados obtidos na análise sensorial da polpa de pitanga servido na forma de néctar são mostrados na Tabela 3.7, onde se observa claramente que a aparência foi o atributo mais afetado na qualidade da polpa de pitanga congelada ao final do tempo de estocagem.

Tabela 3.7. Médias dos atributos cor, aroma e sabor do néctar de pitanga.

Tempo de estocagem (dias)	Atributo		
	Aparência	Aroma	Sabor
0	6,49±1,50 ^a	6,5±1,67 ^a	6,28±1,97 ^{a,b}
30	6,52±1,68 ^a	6,99±1,78 ^a	7,05±1,56 ^a
60	6,28±1,69 ^a	6,92±1,72 ^a	7,33±1,36 ^a
90	3,52±1,76 ^b	6,68±1,80 ^a	5,65±2,40 ^b

* Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

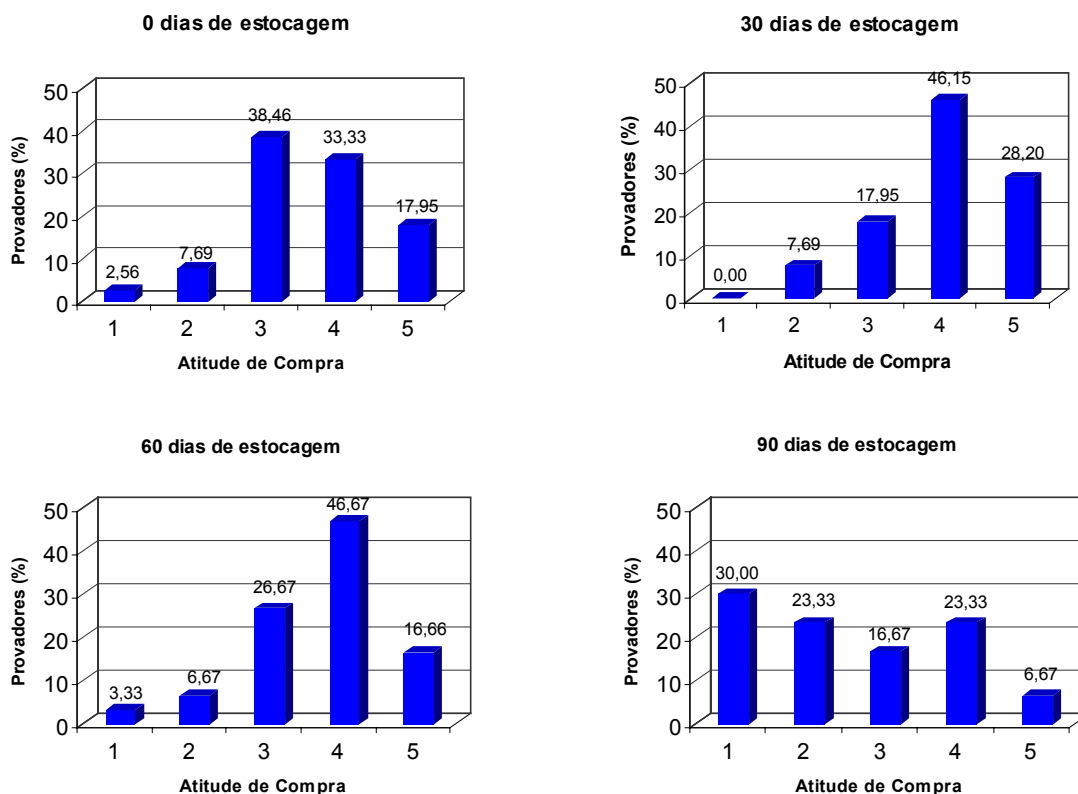


Figura 3.6. Atitude de compra dos provadores para o néctar de pitanga durante os tempos de estocagem avaliados (0, 30, 60 e 90 dias).

Como pode ser observado na Figura 3.6, a porcentagem de provadores que provavelmente e certamente comprariam o produto foi de 51,28%, 74,35%, 63,33 e 30%, para os tempos 0, 30, 60 e 90 dias de estocagem, respectivamente. Ao mesmo tempo, verificou-se para as atitudes certamente e provavelmente não comprariam o produto valores de 10,26%, 7,69%, 10% e 53,33%, para os tempos 0, 30, 60 e 90 dias de estocagem, respectivamente.

Desta forma, verificou-se que a polpa de pitanga após 90 dias de estocagem a 18°C não apresentou boa aceitabilidade, principalmente pela mudança de cor e separação parcial de fases no produto. A separação parcial de fases do produto (soro e polpa) é um sério defeito em polpas e sucos de frutas tropicais, e tem sido atribuída à ação da pectinametilsterase (PME).

A aplicação prévia de um tratamento térmico na polpa de pitanga conservada por congelamento, como o branqueamento ou a pasteurização é essencial para a estabilização dos aspectos de qualidade física desta polpa, especialmente a manutenção da turbidez.

4. CONCLUSÕES

- A polpa de pitanga manteve os padrões de identidade e qualidade exigidos pela legislação vigente durante o período de 90 dias de estocagem a -18°C .
- Nos primeiros 30 dias de estocagem houve um decréscimo significativo no teor de carotenóides totais da polpa de pitanga congelada (13,76%), mas após esse período o teor destes pigmentos manteve-se praticamente inalterado.
- Houve redução significativa ($p \leq 0,05$) na aceitabilidade sensorial do atributo aparência e na atitude positiva de compra do néctar de pitanga formulado com a polpa congelada armazenada por 90 dias a -18°C .
- Sugere-se aplicar tratamento térmico à polpa de pitanga antes do processo de congelamento para manter a qualidade sensorial dos produtos com ela formulados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 14. ed. Arlington: Sidney Williams (Ed.), 1984. 1141 p.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaithersburg: Patricia Cunniff (Ed.), 1997.

BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2 ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 2002. Cap. 5, p. 201-249.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. Diário Oficial da União. Brasília, 10 de janeiro de 2000. Anexo II.

CAVALCANTE, M. L.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Alteration of the carotenoid composition during manufacture and storage of frozen *Eugenia uniflora* fruit. In: 9th World Congress of Food Science and Technology. Budapeste, 1995.

CHOI, M. H.; KIM G. H.; LEE, H. S. Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. **Food Research International**, Amsterdam, v. 35, n.8, p. 753-759, 2002.

COSTELL, E.; DURAN, L. Sensory analysis in the quality-control of foods: 1. Introduction. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 21, n. 1, p. 1-10, 1981.

FARIA, E. V de. Avaliação e determinação da vida-de-prateleira: a importância da análise sensorial. In: MOURA, S. C. S. R. de; GERMER, S. P. M. **Manual do curso reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2002.

FU, B.; LABUZA, T. P. Shelf life of frozen foods. In: LABUZA, T. P.; FU, B. **Shelf Life Testing: Procedures and Prediction Methods**. Denver: CRC Press, 1997. Cap. 19. p.377-415.

LABUZA, T. P. **Shelf-life dating of foods**. Westport: Food and Nutrition Press, 1982.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie**, London: Academic Press, v. 18, p. 111-117, 1985.

MAYER-MIEBACH, E.; SPIEß, W. E. L. Influence of cold storage and blanching on the carotenoid content of *Kintoki* carrots. **Journal of Food Engineering**, Essex: Elsevier Applied Science, v. 56, p. 211-213, 2003.

MOURA, S. C. S. R. de; VITALI, A. A.; ALMEIDA, M. E. M. de; BERBARI, S. A. G.; SIGRIST, J. M. M. Cinética de degradação de polpas de morango. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 4, p. 115-121, 2001.

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

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed and stored foods**. Washington: ILSI Press, 1997.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Press, 1999. 64p.

STATSOFT, INC. (1995). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104, (918) 583-4149, fax: (918) 583-4376.

STONE, H. S.; SIDEL, J. L. Affective testing. In: STONE, H. S.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**, Florida: Academic Press, Cap. 7, 1985. p. 227-252.

TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P.; SAGUY, I. S. Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction. In: VALENTAS, K. J.; ROTSTEIN, E.; SINGH, R. P. **The handbook of food engineering practice**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1997. p.361-402.

THAKUR, B. R.; ARYA, S. S. Relative suitability of plastic films for the frozen storage of mango pulp. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport v. 12, n. 3, p. 171-178, 1988.

TEXEIRA NETO, R. O. Reações de transformação em alimentos – influência da temperatura. In: MOURA, S. C. S. R. de; GERMER, S. P. M. **Manual do curso reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2002. Cap. 1.

CAPÍTULO 4

OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA DA POLPA DE PITANGA (*Eugenia uniflora* L.)

RESUMO

A maioria das polpas de frutas congeladas comercializadas atualmente não é submetida a qualquer tratamento térmico prévio, ocasionando muitas vezes, problemas de escurecimento enzimático. Nos produtos preparados com essas matérias-primas são comuns relatos de perda da turbidez, devido também à ação enzimática. Por isso, a inclusão do tratamento térmico nas operações de processamento de polpa congelada, bem como a determinação dos parâmetros de tempo e temperatura aplicados para tal processo, é fundamental para a melhoria da qualidade e estabilidade das polpas de frutas. Neste trabalho foi estudado, através de um planejamento composto central (2^2), o processo de pasteurização térmica da polpa de pitanga. As variáveis independentes estudadas foram os parâmetros tempo e temperatura de processamento, e as variáveis dependentes (respostas) foram cor instrumental (a^* , b^* e ΔE^*) e atividade enzimática. A otimização do processo de pasteurização foi obtida a partir das respostas de maior importância do planejamento experimental: variação da coordenada de cor a^* e decréscimo da atividade de pectinametilesterase. A faixa de tempo e temperatura do processamento térmico otimizado, obtido a partir da sobreposição das curvas de nível dessas duas respostas, situou-se entre 59 e 68s e cerca de 90°C.

Palavras-chave: pitanga, polpa, pasteurização, otimização

OPTIMISATION OF THE HEAT PASTEURISATION CONDITIONS FOR PITANGA (*Eugenia uniflora* L.) PULP

SUMMARY

The majority of frozen fruit pulps commercialised these days are not submitted to any kind of heat treatment prior to freezing, frequently leading to problems with enzymatic browning. Products prepared with these raw materials frequently show problems related to loss of turbidity, also due to enzymatic action. Thus it is essential to include heat treatment in the processing operations of frozen fruit pulps and determine adequate time and temperature parameters for this process, in order to improve their quality and stability. Thus the heat pasteurisation of pitanga (*Eugenia uniflora* L.) pulp was studied using a 2^2 central composite design, the independent variables being the process time and temperature and the dependent variables the instrumental colour (a^* , b^* and ΔE^*) and enzyme activity. Optimisation of the pasteurisation process was obtained from the more important responses in the experimental design: variation in the a^* colour coordinate and decrease in pectinmethylesterase activity. The optimised time and temperature ranges for heat processing, obtained from the superposition of the response level curves, were between 59 and 68s at about 90°C.

Key words: pitanga, pulp, pasteurisation, optimisation

1. INTRODUÇÃO

Apesar da segurança microbiológica constituir-se num dos fatores mais importantes que justificam os métodos de preservação de alimentos, a estabilidade destes é efetivada somente se as reações bioquímicas e químicas, que alteram a qualidade dos alimentos, estiverem ausentes ao término do processamento. Dentre as reações bioquímicas, as reações enzimáticas são as que mais preocupam, uma vez que as enzimas presentes nos alimentos rapidamente catalisam reações de escurecimento, oxidação, hidrólise, polimerização de compostos, tornando o produto impróprio e inaceitável ao consumidor.

A pasteurização é um tratamento térmico que, quando aplicado às polpas de frutas, tem como principais objetivos a destruição de células vegetativas de microorganismos deteriorantes e a inativação enzimática. A microflora de produtos ácidos é relativamente restrita, apresentando microorganismos de menor resistência térmica. A pasteurização é amplamente associada com outros métodos de preservação, tais como: refrigeração, congelamento, concentração, embalagens herméticas e conservantes químicos (LEITÃO, 1980).

Devido aos fatores de viscosidade e consistência das polpas de frutas, a pasteurização é geralmente realizada em dois tipos de trocadores de calor: tubular e de superfície raspada (TOCCHINI; NISIDA; DE MARTIN, 1995).

A relação tempo-temperatura utilizada na pasteurização depende da resistência térmica do microorganismo deteriorador que deve ser destruído, da sensibilidade do produto e da necessidade de inativação enzimática. Métodos envolvendo altas temperaturas e curto tempo (HTST) são preferidos por causarem menor dano ao produto. Geralmente, para inativar as enzimas são necessários tratamentos em que as temperaturas de processo variam por volta de 90°C. As principais enzimas que devem ser inativadas, em polpas e sucos de frutas, são a poligalacturonase (PG), pectinesterase (PE), polifenoxidase e peroxidase (TOCCHINI; NISIDA; DE MARTIN, 1995).

Robinson (1991) verificou o papel fisiológico das peroxidases na pós-colheita de frutas e vegetais e atribuiu algumas funções fisiológicas à reação de oxidação dos fenóis, como por exemplo a biossíntese da lignina. De fato, acredita-se que a oxidação de compostos fenólicos, mediada pela peroxidase, está associada à deterioração do sabor, cor, textura e qualidades nutricionais dos alimentos processados (BURNETTE, 1977; KHAN; ROBINSON, 1993; CLEMENTE, 1996).

Pectinesterases são encontradas em tecidos de inúmeras plantas e microorganismos. Estas enzimas são altamente específicas para a hidrólise das ligações éster-metilícas da pectina, formando ácido péctico e metanol. Estas enzimas causam efeitos desejáveis e indesejáveis antes, durante e após o processamento de sucos de frutas, como por exemplo, o amadurecimento e amolecimento de frutas (LABIB et al., 1995).

A pectinesterase constitui uma grande preocupação para a indústria de sucos cítricos, pois esta enzima foi reconhecida como o agente causador da clarificação de sucos cítricos e geleificação em sucos concentrados (FAYYAZ et al., 1995). De acordo com Versteeg et al. (1980), para prevenir estes defeitos de qualidade em sucos cítricos deve-se inativar a pectinesterase por pasteurização a 90°C/1min. Por outro lado, o tratamento térmico necessário para inativar a pectinesterase em sucos varia com a variedade, pH e etc.

Em frutas e vegetais, a cor é proporcionada pela presença de quatro grupos de pigmentos naturais: clorofilas, carotenóides, flavonóides (antocianinas, flavonas e flavonóis) e betalaínas (betacianinas e betaxantinas). A cor constitui um importante fator de qualidade (HAISMAN; CLARKE, 1975) e, muitas vezes, sobrepõe-se ao efeito causado por outros atributos de aparência e aroma, além de apresentar efeito na intensidade com que o sabor é percebido (CHAN; MARTINELLI, 1997; CARDOSO et al., 1997).

A cor é uma percepção visual resultante da detecção da luz após interação com um objeto. No sistema CIELAB, é descrita por um diagrama tridimensional, onde o espaço é definido pelas coordenadas retangulares, luminosidade (L^*), componente vermelho-verde (a^*) e componente amarelo-azul (b^*), e pelas coordenadas cilíndricas do mesmo espaço, croma (C^*) e tonalidade cromática (H^*) (ABNT, 1992; LAWLESS; HEYMANN, 1998).

O efeito da temperatura contribui para a degradação da cor e para o escurecimento não enzimático (Reação de Maillard) (LESZKOWIAT et al., 1990).

De acordo com Silva (1999), a polpa de acerola sofreu significativa mudança de cor, de vermelho para amarelo-alaranjado, quando submetida à pasteurização térmica (95°C/25s).

Chen, Peng e Chen (1995) estudaram as alterações de cor durante o processamento térmico de suco de cenoura, e observaram que os aumentos da temperatura e do tempo de aquecimento provocaram diminuição significativa da intensidade de vermelho (a) e amarelo (b). Segundo os autores, a mudança de cor durante o processamento térmico de suco de cenoura está diretamente relacionada à degradação dos carotenóides, principalmente devido à reação de isomerização com formação de *cis*-carotenóides.

O objetivo deste trabalho foi o estudo da pasteurização térmica da polpa de pitanga, através da aplicação da metodologia estatística denominada planejamento composto central (2^2), onde se avaliou o binômio tempo-temperatura em função da inativação enzimática e da mudança de cor.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL

2.1.1. Matéria-Prima

Polpa de pitanga obtida do despulpamento de frutos *in natura* de coloração avermelhada provenientes de Valinhos (SP).

2.1.2. Equipamentos

- Espectrofotômetro COLORQUEST HUNTERLAB;
- Espectrofotômetro BECKMAN mod. DU70;
- Congelador de placas FRIGOSTRELLA DO BRASIL, mod. P.M-5;
- Pasteurizador tubular.

2.2. MÉTODOS

- Determinação Instrumental de Cor: a cor foi avaliada através de um espectrofotômetro Colorquest Hunterlab, usando um sistema de leitura CIELAB para reflectância especular incluída, conferindo os seguintes padrões de calibração:

n° C6299 de março de 1996, D₆₅/10° Branco X7746 Y8208 Z8838

n° C6299G de março de 1996, D₆₅/10° Cinza X4771 Y5083 Z5494

As amostras foram colocadas em cubeta de vidro opticamente limpo com 10 mm de caminho óptico. Foi calculada a diferença total de cor (ΔE^*) de acordo com a equação:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

onde: Δ é a diferença entre cada parâmetro de cor da amostra controle (polpa não pasteurizada) e as amostra submetidas à pasteurização térmica.

- Atividade de Peroxidase (POD): a atividade de peroxidase foi determinada segundo Khan e Robinson (1994) e Holschuh (2000). 5g de polpa de pitanga adicionadas de 10ml de tampão fosfato de sódio 0,2M, pH=8,0 foram centrifugadas a 10.000xg por 10 minutos, e o sobrenadante obtido foi utilizado como extrato enzimático. Para a reação foram misturados: 1,5ml de solução de guaiacol 1% em tampão fosfato de sódio 0,05M (pH=6,0) e 1,2ml de tampão fosfato de sódio 0,05M (pH=6,0). Essa mistura foi equilibrada por 10 minutos a 25°C. Em seguida, foram adicionados 0,4ml de H₂O₂ em tampão fosfato de sódio 0,05M (pH=6,0) e 0,1ml de extrato enzimático. Após 15s de reação, o aumento da absorbância a 470nm foi monitorado por 5 minutos contra o branco. O branco foi preparado pela mistura de 1,5ml de solução de guaiacol 1% em tampão fosfato de sódio 0,05M (pH=6,0), 1,6ml de tampão fosfato de sódio 0,05M (pH=6,0) e 0,1ml de extrato enzimático. Uma unidade de atividade foi definida como o aumento de 0,001 de absorbância por minuto por grama de amostra.
- Atividade de Pectinametilesterase (PME): a atividade de PME foi medida através da determinação dos grupos carboxílicos formados pela ação enzimática sobre a pectina. 5g de polpa de pitanga adicionados de 5ml de NaCl 0,2M (pH=7,0) foram filtrados em papel Whatman n° 1, e o filtrado foi usado como extrato enzimático. A reação ocorreu com a mistura de 30ml da solução de pectina cítrica a 1% em NaCl 0,2M (pH=7,0) e 4ml de extrato enzimático. À medida que o pH da mistura, sob agitação constante durante 10 minutos, foi decrescendo adicionou-se NaOH 0,01N. Uma unidade de PME

foi definida como a quantidade de enzima que libera 1nmol/g de grupos carboxílicos por minuto (KERTESZ, 1955).

2.3. PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA

O sistema de pasteurização tubular (Figura 4.1) utilizado é constituído de três seções: aquecimento, retenção e resfriamento. Este sistema de pasteurização foi idealizado pelo Dr. Alfredo Vitali (Pesquisador Científico do ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos). O funcionamento baseia-se na passagem da polpa por uma bomba peristáltica com controle de vazão de alta precisão, que impulsiona a polpa pelas três seções até o envase, através de mangueiras plásticas (específicas para o uso com produtos alimentícios) e serpentinas de aço inoxidável (AISI 314), que se encontram dentro de banhos com temperatura controlada.

Os parâmetros estabelecidos, preliminarmente, para o controle dos ensaios de pasteurização foram o comprimento e o diâmetro das serpentinas e mangueiras plásticas, a capacidade da bomba peristáltica e a temperatura dos banhos de aquecimento e resfriamento. As temperaturas de processo foram monitoradas em diversos pontos do sistema de pasteurização, como pode ser visto na Figura 4.1. A polpa de pitanga processada foi envasada em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade; a embalagem foi selada e submetida a congelamento rápido em congelador de placas.

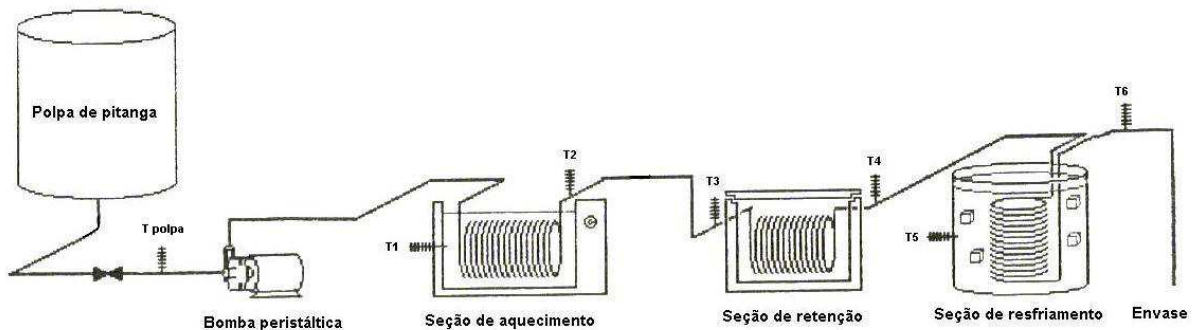


Figura 4.1. Sistema de pasteurização tubular.

2.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O processo de pasteurização da polpa de pitanga, que apresentou um teor de sólidos solúveis de $7,97 \pm 0,06^\circ\text{Brix}$ a 20°C , foi realizado segundo um planejamento

composto central (2^2) (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2002) constituído por quatro ensaios lineares nos níveis -1 e $+1$, quatro ensaios axiais ($\alpha=1,414$) e três ensaios no ponto central, como pode ser observado na Tabela 4.2. As variáveis independentes foram: tempo (segundos) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$), sendo seus níveis apresentados na Tabela 4.1. As variáveis dependentes avaliadas foram: coordenadas de cor instrumental a^* e b^* , diferença total de cor (ΔE^*) e atividade enzimática residual (%) para peroxidase e pectinesterase.

Utilizando-se o programa *Statistica*® versão 5.0 (STATSOFT INC., 1995), os resultados foram avaliados através de:

- Verificação dos efeitos significativos ($p \leq 0,05$ ou valores próximos);
- Análise de Variância (ANOVA);
- Metodologia de Superfície de Resposta.

Tabela 4.1. Variáveis independentes e seus diferentes níveis.

Fator	Codificado	Níveis				
		$-\alpha$	-1	0	$+1$	$+\alpha$
Tempo (s)	X1	39	45	60	75	81
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	X2	83	85	90	95	97

Tabela 4.2. Planejamento experimental completo (2^2).

Ensaio	X1	X2
1	-1	-1
2	-1	1
3	1	-1
4	1	1
5	-1,414	0
6	1,414	0
7	0	-1,414
8	0	1,414
9(C)	0	0
10(C)	0	0
11(C)	0	0

X1 = tempo (segundos)

X2 = temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. COR INSTRUMENTAL

Os valores médios e desvios-padrão das análises dos parâmetros de cor instrumental das polpas de pitanga não pasteurizada (Padrão) e pasteurizadas em diferentes tempos e temperaturas de processo, são mostrados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Média* e desvio-padrão das coordenadas de cor instrumental L*, a* e b* e ΔE* das polpas de pitanga não pasteurizada e pasteurizadas termicamente.

Amostra	Parâmetros de cor instrumental ¹			
	L*	a*	b*	ΔE*
Polpa não pasteurizada	39,49±0,04	21,88±0,02	19,02±0,01	-
Polpa pasteurizada (tempo/temperatura)				
45s/85°C	40,24±0,05	22,07±0,01	19,24±0,01	0,801±0,017
45s/95°C	40,02±0,01	20,75±0,01	18,93±0,03	1,252±0,027
75s/85°C	40,33±0,02	21,75±0,02	19,25±0,02	0,878±0,030
75s/95°C	40,15±0,02	21,13±0,01	19,17±0,04	1,009±0,030
39s/90°C	40,27±0,02	21,72±0,02	19,24±0,02	0,823±0,021
81s/90°C	40,00±0,04	21,50±0,02	19,06±0,02	0,637±0,007
60s/83°C	40,27±0,01	21,98±0,02	19,32±0,02	0,838±0,037
60s/97°C	40,13±0,05	20,91±0,02	19,22±0,07	1,178±0,014
60s/90°C	40,42±0,04	21,76±0,03	19,54±0,02	1,067±0,020
60s/90°C	40,38±0,11	21,82±0,03	19,50±0,07	1,008±0,160
60s/90°C	40,40±0,01	21,78±0,01	19,48±0,00	1,020±0,039

¹ Média±desvio-padrão

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores médios das coordenadas de cor instrumental referentes aos parâmetros de cor instrumental que foram utilizados para avaliação do planejamento experimental composto central 2². O parâmetro L* (luminosidade) não constituiu uma resposta importante, pois não foram observados os efeitos significativos (linear, quadrático e interação) das variáveis independentes estudadas.

Tabela 4.4. Média* das coordenadas de cor instrumental a*, b* e ΔE* da polpa de pitanga.

Ensaio	Planejamento		Planejamento real		Respostas		
	codificado		X1	X2	a*	b*	ΔE*
	X1	X2					
1	-1	-1	45	85	22,065	19,240	0,801
2	-1	1	45	95	20,750	18,930	1,252
3	1	-1	75	85	21,750	19,250	0,878
4	1	1	75	95	21,130	19,170	1,009
5	-1,414	0	39	90	21,720	19,240	0,823
6	1,414	0	81	90	21,500	19,060	0,637
7	0	-1,414	60	83	21,980	19,320	0,838
8	0	1,414	60	97	20,910	19,220	1,178
9(C)	0	0	60	90	21,760	19,540	1,067
10(C)	0	0	60	90	21,820	19,500	1,008
11(C)	0	0	60	90	21,780	19,480	1,020

X1 = tempo (segundos)

X2 = temperatura (°C)

3.1.1. Coordenada de cromaticidade a*

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais da coordenada de cor instrumental a* são mostrados nas Tabelas 4.5 e 4.6, considerando o erro puro e a soma quadrática residual. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos.

Tabela 4.5. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a coordenada de cor instrumental a*.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Tempo (L)	-0,0615	0,0216	-2,8484	0,1043
Tempo (Q)	-0,2285	0,0257	-8,8885	0,0124
Temperatura (L)	-0,8621	0,0216	-39,9053	0,0006
Temperatura (Q)	-0,3935	0,0257	-15,3057	0,0042
Efeito de interação				
Tempo (L) x Temperatura (L)	0,3475	0,0306	11,3746	0,0076

(L): linear (Q): quadrático

Tabela 4.6. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a coordenada de cor instrumental a*.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Tempo (L)	-0,0615	0,0796	-0,7733	0,4743
Tempo (Q)	-0,2285	0,0947	-2,4131	0,0606
Temperatura (L)	-0,8621	0,0796	-10,8336	0,0001
Temperatura (Q)	-0,3935	0,0947	-4,1552	0,0089
Efeito de interação				
Tempo (L) x Temperatura (L)	0,3475	0,1125	3,0880	0,0272

(L): linear (Q): quadrático

Como pode ser observado nas Tabelas 4.5 e 4.6, os efeitos significativos a 95% de confiança foram: temperatura (L), temperatura (Q) e a interação tempo (L) x temperatura (L), considerando o erro puro e a soma quadrática residual. O efeito quadrático do fator tempo de pasteurização para o erro puro foi significativo a 95% de confiança, quando analisado pela soma quadrática residual, apresentou significância estatística dentro de um limite de confiança de 93,94% ($p=0,0606$), e por isto, foi incluído dentre os efeitos significativos.

O efeito estimado indica o quanto cada fator influi na resposta estudada, pois quanto maior o seu valor, maior é a sua influência. Para os parâmetros linear e quadrático, um efeito positivo indica que o aumento da variável provoca um aumento na resposta. O efeito negativo, para o parâmetro linear, mostra que com um aumento da variável ocorre a diminuição na resposta. Para o parâmetro quadrático, os efeitos positivo e negativo denotam a existência de uma região de máximo ou mínimo, ou seja, quando o efeito quadrático for negativo a superfície de resposta terá concavidade voltada para baixo (máximo), e quando for positivo terá concavidade voltada para cima (mínimo). De acordo com a Figura 4.2, a temperatura (L) foi efeito de maior influência na perda da cor vermelha da polpa de pitanga pasteurizada termicamente.

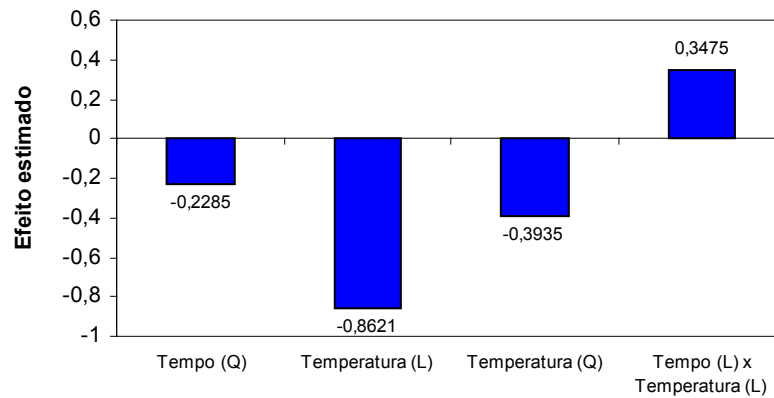


Figura 4.2. Gráfico dos efeitos significativos para a coordenada de cor a^* da polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica.

O valor t expressa o quão grande é a variável em relação ao seu desvio, desta forma, quanto maior o t , maior é a probabilidade da variável ser estatisticamente significativa.

O valor do coeficiente p é o nível da significância da variável independente sobre a resposta estudada, e normalmente é escolhido como o valor de 95% como intervalo de confiança. Desta forma, pode-se afirmar que para valores de p inferiores a 5%, a variável é considerada estatisticamente significativa.

Após a eliminação do parâmetro não significativo, que foi o tempo (L), foi realizada a análise de variância (ANOVA) e verificada a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$), utilizando o teste F, conforme Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação da coordenada de cor a^* da polpa de pitanga pasteurizada termicamente.

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado} ($p \leq 0,05$)	R^2
Regressão	1,8453	4	0,4613	39,05	4,53	0,9630
Resíduos	0,0709	6	0,0118			
F.Ajuste	0,0690	4	0,0173	18,49	19,25	
E.Puro	0,0019	2	0,0009			
Total	1,9162	10				

SQ: soma quadrática GL: graus de liberdade MQ: média quadrática

Segundo Barros Neto; Scarminio e Bruns (2002), nem sempre uma regressão dada como significativa pelo teste F é útil para realizar previsões, pois pode ocorrer que a faixa de variação coberta pelos fatores estudados seja pequena demais. De acordo com Box e Wetz (1973), uma regra prática que pode ser empregada é considerar a regressão como útil para fins preditivos caso o valor $MQ_{regressão}/MQ_{resíduo}$ seja, pelo menos, quatro a cinco vezes maior que o $F_{tabelado}$, e o F da falta de ajuste em relação ao erro puro deve apresentar o menor valor possível e sempre menor que o F da falta de ajuste tabelado, pois um valor alto e maior que o $F_{tabelado}$ para a falta de ajuste indica que os dados não estão bem ajustados ao modelo obtido.

Como se pode observar na Tabela 4.7, o modelo apresentou regressão significativa no nível de 95% de confiança ($F_{calculado}$ superior ao $F_{tabelado}$) com R^2 igual a 0,9630, evidenciando que o modelo explicou 96,30% da variação dos dados experimentais. O valor de $F_{calculado}$ da regressão foi 8,6 vezes maior que o $F_{tabelado}$, indicando que o modelo é preditivo, segundo Box e Wetz (1973). A falta de ajuste não foi significativa ($F_{calculado}$ menor que o $F_{tabelado}$), e isto mostra que os dados experimentais ajustaram-se ao modelo obtido.

O modelo proposto para representar a variação da coordenada de cor a^* na polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica é o seguinte:

$$a^* = 21,787 - 0,114 \times t^2 - 0,431 \times T - 0,197 \times T^2 + 0,174 \times t \times T$$

onde:

$$\left. \begin{array}{l} t = \text{tempo (segundos)} \\ T = \text{temperatura (}^\circ\text{C)} \end{array} \right\} \text{na faixa estudada}$$

A Figura 4.3 mostra a superfície de resposta quadrática (a) e as curvas de nível (b) geradas através do modelo proposto.

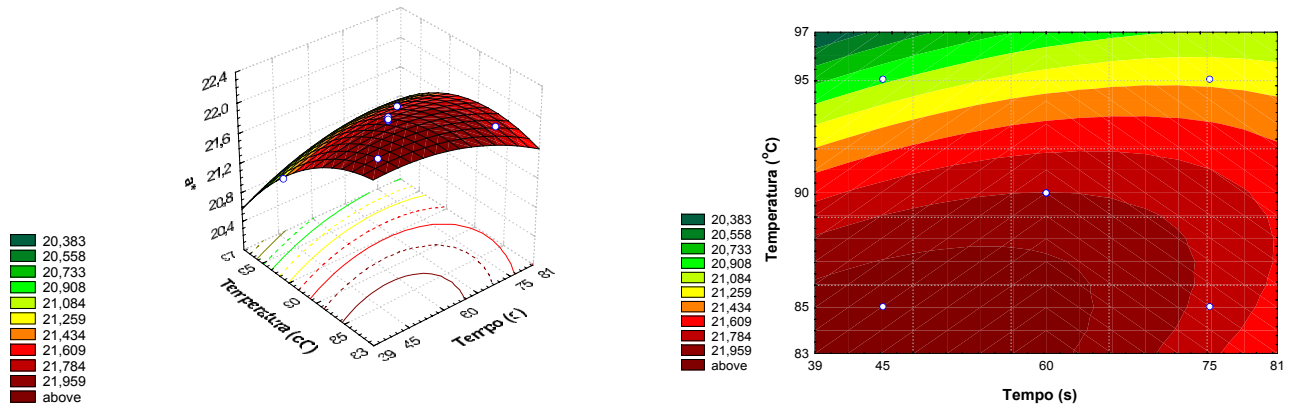


Figura 4.3. (a) Superfície de resposta quadrática e (b) curvas de nível para a variação da coordenada de cor a^* na polpa de pitanga pasteurizada termicamente.

A superfície de resposta quadrática e as curvas de nível confirmam a análise de efeitos com uma região de máximo, e permitem visualizar a variação da resposta para cada parâmetro estudado (tempo e temperatura). Observa-se que a região (máximo) onde são obtidas as menores perdas de a^* correspondem à faixa de tempo entre 39 a 62s e temperaturas de pasteurização entre 83 a 86°C. Considerando-se somente esta resposta, podem ser realizados processamentos de pasteurização com temperaturas de até 88°C, sem ultrapassar o tempo de 58s, pois a partir deste tempo para esta temperatura começa haver diminuição do valor de a^* .

3.1.2. Coordenada de cromaticidade b^*

Os resultados experimentais da coordenada de cor instrumental b^* avaliados estatisticamente através do erro puro e da soma quadrática residual são mostrados nas Tabelas 4.8 e 4.9. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos.

Tabela 4.8. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a coordenada de cor instrumental b*.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Tempo (L)	-0,0011	0,0216	-0,0528	0,9627
Tempo (Q)	-0,3879	0,0257	-15,0869	0,0044
Temperatura (L)	-0,1329	0,0216	-6,1500	0,0254
Temperatura (Q)	-0,2679	0,0257	-10,4199	0,0091
Efeito de interação				
Tempo (L) x Temperatura (L)	0,1150	0,0306	3,7643	0,0639

(L): linear (Q): quadrático

Tabela 4.9. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a coordenada de cor instrumental b*.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Tempo (L)	-0,0011	0,0702	-0,0162	0,9877
Tempo (Q)	-0,3879	0,0835	-4,6453	0,0056
Temperatura (L)	-0,1329	0,0702	-1,8936	0,1168
Temperatura (Q)	-0,2679	0,0835	-3,2083	0,0238
Efeito de interação				
Tempo (L) x Temperatura (L)	0,1150	0,0992	1,1590	0,2988

(L): linear (Q): quadrático

Como pode ser observado nas Tabelas 4.8 e 4.9, os efeitos significativos no nível de 95% de confiança foram: tempo (Q) e temperatura (Q), considerando o erro puro e a soma quadrática residual. Estes efeitos foram negativos, indicando a existência de uma região de máximo. O efeito linear da temperatura de pasteurização para o erro puro foi significativo a 95% de confiança, mas quando analisado pela soma quadrática residual, apresentou significância estatística dentro de um limite de confiança de 88,32% ($p=0,1168$). Nesta faixa de significância (p), ainda pode-se considerar um efeito importante e, portanto, o efeito linear da temperatura foi incluído entre os efeitos significativos.

De acordo com a Figura 4.4, o tempo (Q) foi o efeito de maior influência na variação da coordenada de cor b* da polpa de pitanga pasteurizada termicamente.

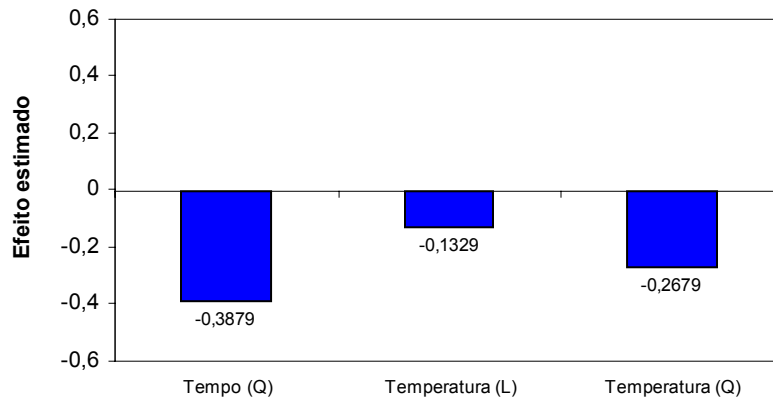


Figura 4.4. Gráfico dos efeitos significativos para a coordenada de cor b^* da polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, que foram o tempo (L) e a interação tempo (L) x temperatura (L), foi realizada a análise de variância (ANOVA) e verificada a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$), utilizando o teste F, conforme Tabela 4.10.

Tabela 4.10. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação da coordenada de cor b^* da polpa de pitanga pasteurizada.

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado} ($p \leq 0,05$)	R^2
Regressão	0,2843	3	0,0948	10,62	4,35	0,8199
Resíduos	0,0625	7	0,0089			
F.Ajuste	0,0606	5	0,0121	12,98	19,3	
E.Puro	0,0019	2	0,0009			
Total	0,3468	10				

SQ: soma quadrática GL: graus de liberdade MQ: média quadrática

Como se pode observar na Tabela 4.10, o valor $F_{\text{calculado}}$ da falta de ajuste foi menor que o F_{tabelado} , revelando que os dados experimentais se ajustaram ao modelo obtido. O coeficiente de correlação (R^2) foi de 0,8199, indicando que o modelo explicou 81,99% da variação dos dados experimentais. O valor $F_{\text{calculado}}$ da regressão foi superior ao F_{tabelado} , evidenciando uma regressão significativa; no entanto, o modelo não pode ser considerado preditivo segundo Box e Wetz (1973), pois o $F_{\text{calculado}}$ da regressão foi somente 2,4 vezes maior que o F_{tabelado} .

O modelo proposto para representar a variação da coordenada de cor b^* na polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica é o seguinte:

$$b^* = 19,507 - 0,194 \times t^2 - 0,066 \times T - 0,134 \times T^2$$

onde:

t = tempo (segundos) }
 T = temperatura (°C) } na faixa estudada

Para melhor visualização do ajuste do modelo, foram calculados os valores da coordenada de cromaticidade b^* preditos e comparados com os valores experimentais, obtendo-se os desvios relativos entre eles (Tabela 4.11).

Tabela 4.11. Valores experimentais e preditos pelo modelo para a coordenada de cor b^* da polpa de pitanga pasteurizada.

Ensaio	Experimental	Predito	Desvio relativo (%)
1	19,24	19,25	-0,03
2	18,93	19,11	-0,97
3	19,25	19,25	0,02
4	19,17	19,11	0,30
5	19,24	19,13	0,59
6	19,06	19,13	-0,35
7	19,32	19,34	-0,10
8	19,22	19,15	0,35
9	19,54	19,51	0,17
10	19,50	19,51	-0,03
11	19,48	19,51	-0,14

De acordo com a Tabela 4.11, verificou-se que os desvio relativos variaram de 0,02 a 0,97%, sendo que o maior desvio corresponde ao menor valor experimental da coordenada de cor b^* (18,93). Apesar dos valores dos desvios serem muito baixos, esses podem ter uma forte influência na explicação do modelo (R^2) e no $F_{\text{calculado}}$ da regressão, devido à pequena faixa dos dados experimentais (18,93 a 19,54).

Diante disso, o modelo proposto para representar a variação da coordenada de cor b^* na polpa de pitanga pasteurizada termicamente pode ser utilizado somente como modelo de tendência.

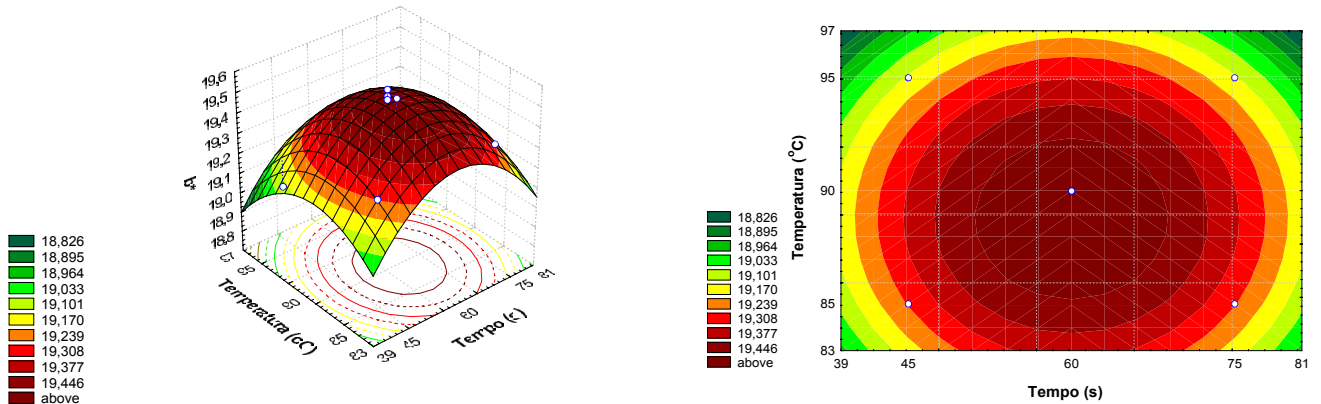


Figura 4.5. (a) Superfície de resposta quadrática e (b) curvas de nível para a variação da coordenada de cor b^* na polpa de pitanga pasteurizada termicamente.

Comparativamente à resposta de cor instrumental a^* , a coordenada b^* não representou um bom parâmetro para a explicação dos dados experimentais. Isso ocorre devido a coloração vermelha da polpa de pitanga ser muito mais representativa que a coloração amarela, e com isso, a coordenada de cor a^* constitui um importante parâmetro qualidade na polpa de pitanga.

3.1.3. Diferença total de cor (ΔE^*)

Os resultados da análise estatística da coordenada de cor instrumental ΔE^* são mostrados nas Tabelas 4.12 e 4.13, considerando o erro puro e a soma quadrática residual. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos.

Tabela 4.12. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a diferença total de cor (ΔE^*).

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Tempo (L)	-0,1075	0,0221	-4,8555	0,0399
Tempo (Q)	-0,2439	0,0263	-9,2569	0,0115
Temperatura (L)	0,2656	0,0221	11,9982	0,0069
Temperatura (Q)	0,0339	0,0263	1,2853	0,3274
Efeito de interação				
Tempo (L) x Temperatura (L)	-0,1604	0,0313	-5,1238	0,0360

(L): linear (Q): quadrático

Tabela 4.13. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a diferença total de cor (ΔE^*).

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Tempo (L)	-0,1075	0,0560	-1,9198	0,1130
Tempo (Q)	-0,2439	0,0666	-3,6601	0,0146
Temperatura (L)	0,2656	0,0560	4,7440	0,0051
Temperatura (Q)	0,0339	0,0666	0,5082	0,6329
Efeito de interação				
Tempo (L) x Temperatura (L)	-0,1604	0,0792	-2,0259	0,0986

(L): linear (Q): quadrático

Como pode ser observado nas Tabelas 4.12 e 4.13, os efeitos significativos a 95% de confiança, considerando o erro puro e a soma quadrática residual, foram: tempo (Q) e temperatura (L). Os efeitos tempo (L) e interação tempo (L) x temperatura (L) obtidos através do erro puro foram significativos a 95% de confiança, mas quando analisados pela soma quadrática residual, apresentaram significância estatística com valores relativamente próximos a 0,05, e por isto, foram incluídos dentre os efeitos significativos.

De acordo com a Figura 4.6, o efeito linear da temperatura apresentou maior influência na variação da diferença total de cor (ΔE^*), dentre os efeitos significativos para o modelo.

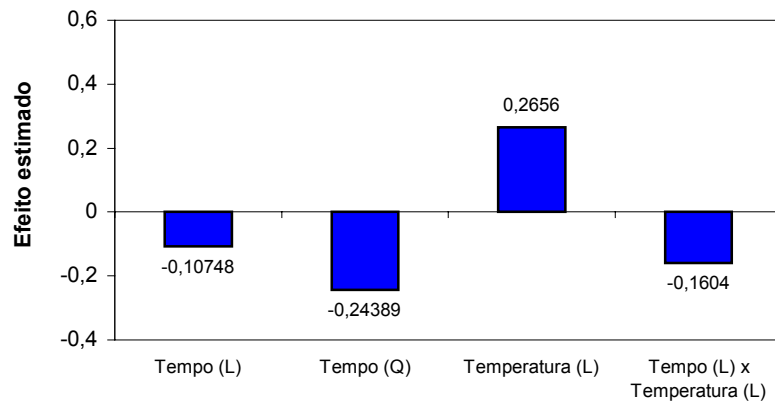


Figura 4.6. Gráfico dos efeitos significativos para a diferença total de cor (ΔE^*) da polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica.

Após a eliminação do parâmetro não significativo, que foi a temperatura (Q), foi realizada a análise de variância (ANOVA) e verificada a significância da regressão e da falta de ajuste no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$), utilizando o teste F, conforme Tabela 4.14.

Tabela 4.14. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a variação da diferença total de cor (ΔE^*) da polpa de pitanga pasteurizada termicamente.

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado} ($p \leq 0,05$)	R^2
Regressão	0,2895	4	0,0724	13,17	4,53	0,8978
Resíduos	0,0330	6	0,0055			
F.Ajuste	0,0310	4	0,0078	7,91	19,25	
E.Puro	0,0020	2	0,0010			
Total	0,3225	10				

SQ: soma quadrática GL: graus de liberdade MQ: média quadrática

Como se pode observar na Tabela 4.14, o modelo apresentou regressão significativa com R^2 igual a 0,8978, evidenciando que o modelo explicou 89,78% da variação dos dados experimentais. O valor de $F_{\text{calculado}}$ da regressão foi 2,91 vezes maior que o F_{tabelado} , evidenciando que o modelo não pode ser considerado preditivo, segundo Box e Wetz (1973). A falta de ajuste não foi significativa ($F_{\text{calculado}}$ menor que o F_{tabelado}), e isso mostra que os dados experimentais ajustaram-se ao modelo obtido.

O modelo proposto para representar a variação da diferença total de cor (ΔE^*) na polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica é o seguinte:

$$\Delta E^* = 1,048 - 0,054 \times t - 0,127 \times t^2 + 0,133 \times T - 0,080 \times t \times T$$

onde:

t = tempo (segundos) }
 T = temperatura (°C) } na faixa estudada

Para melhor visualização do ajuste do modelo, foram calculados os valores da coordenada de cromaticidade b^* preditos e comparados com os valores experimentais, obtendo-se os desvios relativos entre eles (Tabela 4.15).

Tabela 4.15. Valores experimentais e preditos pelo modelo para a coordenada de cor b^* da polpa de pitanga pasteurizada.

Ensaio	Experimental	Predito	Desvio relativo (%)
1	0,80	0,76	4,85
2	1,25	1,19	5,15
3	0,88	0,81	7,21
4	1,01	0,92	8,82
5	0,82	0,87	-6,18
6	0,64	0,72	-13,70
7	0,84	0,86	-2,84
8	1,18	1,23	-4,78
9	1,07	1,05	1,83
10	1,01	1,05	-3,93
11	1,02	1,05	-2,72

De acordo com a Tabela 4.15 verificou-se que os desvio relativos variaram de 1,83 a 13,70%, sendo que o maior desvio corresponde ao menor valor experimental da diferença total de cor (ΔE^*) (0,64), que corresponde ao ensaio codificado 1,414; 0. Para os valores situados nos extremos da superfície os desvios são maiores. Para avaliar melhor esse comportamento sugere-se deslocar os intervalos das variáveis, de modo que os menores valores de ΔE^* não fiquem nos extremos da superfície de resposta.

A Figura 4.7 mostra a superfície de resposta quadrática (a) e as curvas de nível (b) geradas através do modelo proposto.

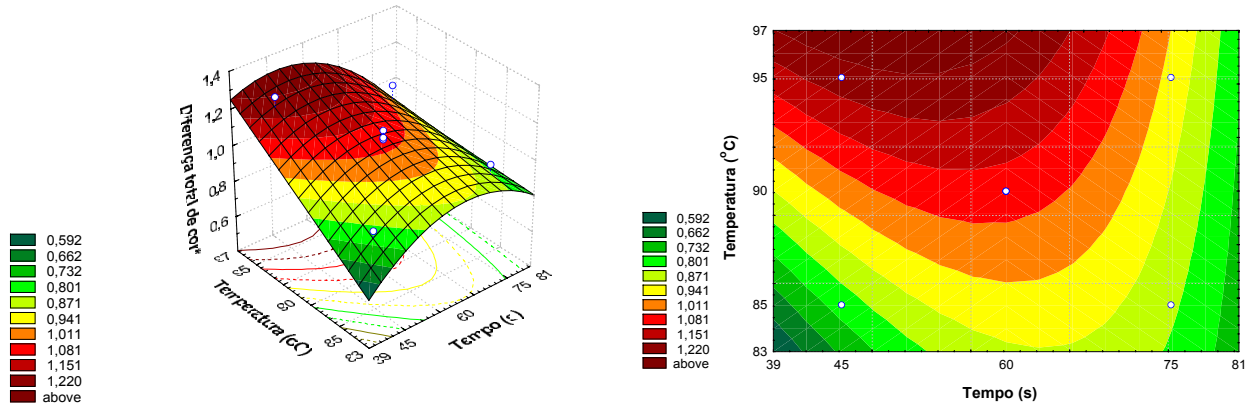


Figura 4.7. (a) Superfície de resposta quadrática e (b) curvas de nível para a variação da diferença total de cor (ΔE^*) na polpa de pitanga pasteurizada termicamente.

O objetivo do tratamento térmico, em relação à cor, é de alterá-la minimamente e, portanto, quanto menor a diferença total de cor (ΔE^*) melhor será a aceitabilidade do produto, visto que esse apresentará cor próxima da polpa de fruta *in natura*.

Observa-se que a região onde são obtidos os menores valores de diferença total de cor ($\Delta E^*=0,592$) corresponde à pequena região (verde escuro na Figura 4.7), onde foram utilizados tempos de 39 a 40,5s e temperaturas de pasteurização entre 83 a 84°C. Os maiores valores de ΔE^* são obtidos em temperaturas acima de 93°C em uma ampla faixa de tempo. Isso demonstra a grande influência da temperatura, que apresenta efeito linear significativo a $p \leq 0,05$, na mudança de cor da polpa de pitanga pasteurizada termicamente. Na faixa que compreende os tempos de pasteurização entre 39 e 60s, verifica-se a tendência do aumento de ΔE^* com o aumento do tempo de pasteurização, considerando uma mesma temperatura. A partir do tempo 60s, o modelo não apresentou uma explicação coerente para a variação da diferença total de cor na polpa de pitanga pasteurizada. Isso é confirmado pelo fato do modelo de regressão não ser preditivo, segundo Box e Wetz (1973), e neste caso, só pode ser utilizado para fornecer informações de tendência.

3.2. ATIVIDADE ENZIMÁTICA

Os valores médios da atividade enzimática para peroxidase e pectinametilsterase nas polpas de pitanga não pasteurizada (padrão) e pasteurizadas, em diferentes tempos e temperaturas de processo, são mostrados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16. Média* e desvio-padrão da atividade de peroxidase (POD), pectinametilsterase (PME) e decréscimo da atividade enzimática da PME.

Amostra	POD (Unidades/g)	PME (Unidades/g/min)	Decréscimo de atividade da PME (%)
Polpa não pasteurizada	2618,43±46,86	781,76±20,06	-
Polpa pasteurizada (tempo/temperatura)			
45s/85°C	0,00±0,00	78,14±0,74	90,00±0,35
45s/95°C	0,00±0,00	0,00±0,00	100,00±0,00
75s/85°C	0,00±0,00	49,83±1,40	93,63±0,02
75s/95°C	0,00±0,00	0,00±0,00	100,00±0,00
39s/90°C	0,00±0,00	25,06±0,43	96,79±0,14
81s/90°C	0,00±0,00	0,00±0,00	100,00±0,00
60s/83°C	0,00±0,00	98,48±0,27	87,40±0,36
60s/97°C	0,00±0,00	0,00±0,00	100,00±0,00
60s/90°C	0,00±0,00	0,00±0,00	100,00±0,00
60s/90 °C	0,00±0,00	0,00±0,00	100,00±0,00
60s/90°C	0,00±0,00	0,00±0,00	100,00±0,00

* Média±desvio-padrão

3.2.1. Peroxidase (POD)

De acordo com a Tabela 4.16, houve a completa inativação da POD na polpa de pitanga nos ensaios do planejamento experimental, e por isso, não foi possível a obtenção da superfície de resposta, dos coeficientes de regressão e dos dados da Tabela de ANOVA para essa resposta.

Mello e Clemente (1996) verificaram que a fração solúvel da polpa de abacaxi mantém cerca de 5% da atividade de POD após tratamento térmico a 75°C por 7 minutos.

Lourenço e Neves (1997) observaram uma rápida inativação da POD em temperaturas acima de 70°C, e a perda completa da atividade após tratamento térmico a 80°C por 30 segundos.

Lu e Whitaker (1974) relataram que a POD de rábano silvestre foi inativada a 76°C/60s em pH igual ou inferior a 4,5.

Khan e Robinson (1993) estudaram a peroxidase presente em manga, e verificaram que a perda de atividade enzimática residual não foi linear com o tempo, e sugeriram que isso deva ocorrer devido à presença de isoenzimas. As isoenzimas apresentam diferentes características, tais como: termoestabilidade, valores ótimos de pH, pesos moleculares, conteúdo de aminoácidos e carboidratos, capacidade de regeneração.

As peroxidases são também capazes de regeneração após um tratamento térmico, e provocar o escurecimento em alimentos submetidos a tratamentos térmicos ineficientes. Qualquer regeneração deve-se ao fato da enzima não ter sido total ou irreversivelmente inativada pelo calor. Dentre os fatores que afetam a regeneração estão a severidade do tratamento aplicado, relacionado ao tempo e temperatura de processo, e as condições de estocagem após o tratamento térmico. Alimentos estocados sob temperatura de congelamento ou resfriamento são menos susceptíveis à regeneração da POD que àqueles armazenados a temperatura ambiente (BURNETTE, 1977).

3.2.1. Pectinametilsterase (PME)

Para avaliar a redução da atividade de pectinametilsterase na polpa de pitanga pasteurizada foram utilizados os valores médios referentes ao decréscimo da atividade dessa enzima, mostrados na Tabela 4.16. Pode-se observar que nos pontos centrais do planejamento experimental não houve variação das respostas, possivelmente, devido à completa inativação dessa enzima na condição 60s/90°C. Por isso, a superfície de resposta e os coeficientes de regressão foram obtidos somente pela avaliação da soma quadrática residual (SQ_{residual}).

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais do decréscimo da atividade da pectinametilsterase (PME), considerando a soma quadrática residual, são mostrados na Tabelas 4.17. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da

interação, em negrito, são significativos no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$) ou valores próximos.

Tabela 4.17. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o decréscimo da atividade da PME.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Tempo (L)	2,0401	0,2016	10,1215	0,0002
Tempo (Q)	-1,6753	0,2399	-6,9832	0,0009
Temperatura (L)	8,5460	0,2016	42,3996	0,0000
Temperatura (Q)	-6,3688	0,2399	-26,5473	0,0000
Efeito de interação				
Tempo (L) x Temperatura (L)	-1,8104	0,2850	-6,3511	0,0014

(L): linear (Q): quadrático

A Tabela 4.17 mostra que para o decréscimo da atividade de PME da polpa de pitanga todos os efeitos foram significativos no nível de 95% de confiança. De acordo com a Figura 4.8, o efeito linear da temperatura apresentou maior influência na redução da atividade da PME, dentre os efeitos significativos para o modelo.

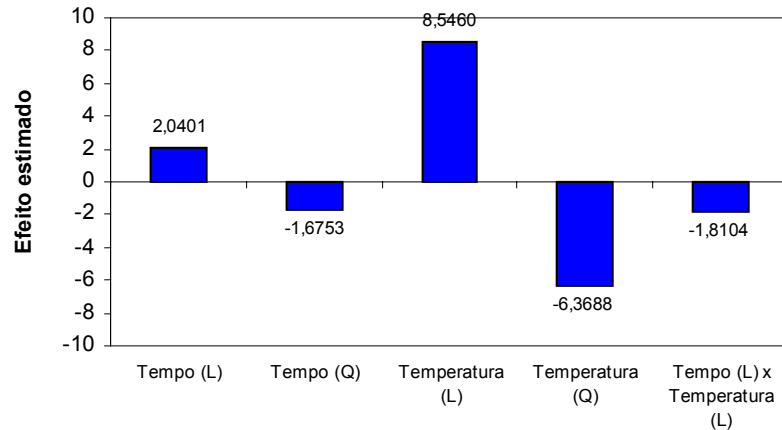


Figura 4.8. Gráfico dos efeitos significativos para o decréscimo da atividade de PME da polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica.

O modelo apresentou regressão significativa com R^2 igual a 0,9981, evidenciando que o modelo explicou 99,81% da variação dos dados experimentais.

O modelo proposto para representar o decréscimo da atividade da PME na polpa de pitanga submetida à pasteurização térmica é o seguinte:

$$DativPME = 100 + 1,020 \times t - 0,838 \times t^2 + 4,273 \times T - 3,184 \times T - 0,905 \times t \times T$$

onde:

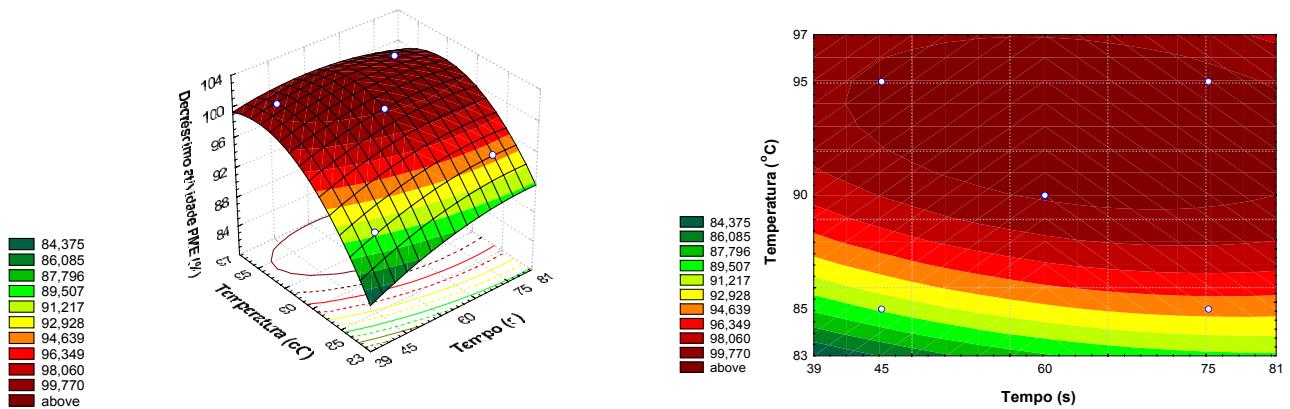
$DativPME$ = % decréscimo da atividade da PME

t = tempo (segundos)

T = temperatura (°C)

na faixa estudada

A Figura 4.9 mostra a superfície de resposta quadrática (a) e as curvas de nível (b) geradas através do modelo proposto pela soma quadrática residual.



p

Figura 4.9. (a) Superfície de resposta quadrática e (b) curvas de nível para o decréscimo da atividade de PME na polpa de pitanga pasteurizada termicamente.

O objetivo do tratamento térmico de polpas de frutas, em relação à atividade enzimática, é inativar completa e irreversivelmente as enzimas presentes visando garantir a estabilidade sensorial e física do produto final.

Observa-se que a região onde são obtidos os maiores valores de decréscimo de atividade de PME ($DativPME =$ acima de 99,77%) corresponde à região em vermelho escuro na Figura 4.9. Essa região inicia onde houve a combinação de tempos curtos e altas temperaturas (42s/92,5 a 95,5°C), e continua com temperaturas de pasteurização acima de 90°C, em uma ampla faixa de tempo. Isso demonstra a grande influência do efeito linear da temperatura, significativo a $p \leq 0,05$, na redução da atividade enzimática (PME) da polpa de pitanga pasteurizada termicamente.

Kim, Tadini e Singh (1999) realizaram o estudo de inativação térmica da pectinametilesterase em suco de laranja pasteurizado em trocador a placas, e observaram que para os binômios tempo/temperatura de 33,27s/80°C e 17,85s/90°C houve cerca de 90% de redução da atividade da PME.

Versteeg et al. (1980) relataram a existência de pelo menos três formas da PME em suco de laranja, e verificaram que a forma 3 (PME 3), embora em menor quantidade, foi a mais termoresistente, e provavelmente responsável pela perda da turbidez no produto.

Assis, Lima e Oliveira (2001) observaram que a atividade da PME na polpa de acerola obtido a partir de frutos em estágio pleno de maturação é 73,56% menor do que nos frutos verdes. Em outro estudo, Assis et al. (2002), verificaram que a PME da acerola reteve 13,5% de sua atividade mesmo após 90 minutos de incubação a 98°C.

Wicker (2004) relata a instabilidade da turbidez ou clarificação como o principal defeito que afeta a aparência de sucos e polpas, e é fundamental para a indústria de bebidas a obtenção dos valores de inativação térmica dessa enzima para diversos produtos à base de frutas, como os néctares mistos e as bebidas lácteas com suco ou polpa de frutas, que possuem atualmente elevada relevância do ponto de vista nutricional.

3.3. OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO

Para a otimização do processo de pasteurização da polpa de pitanga foi utilizado método de sobreposição de gráficos. Derringer e Suich (1980) relatam o uso desse método em conjunto com a metodologia da superfície de resposta, na otimização de sistemas com multirrespostas.

A coordenada de cromaticidade a^* e o decréscimo da atividade da PME na polpa de pitanga foram as respostas mais importantes do planejamento experimental, considerando os parâmetros estatísticos R^2 e o teste F, e por isso, foram utilizadas para a otimização do processo de pasteurização, através da sobreposição de suas curvas de nível (Figura 4.10).

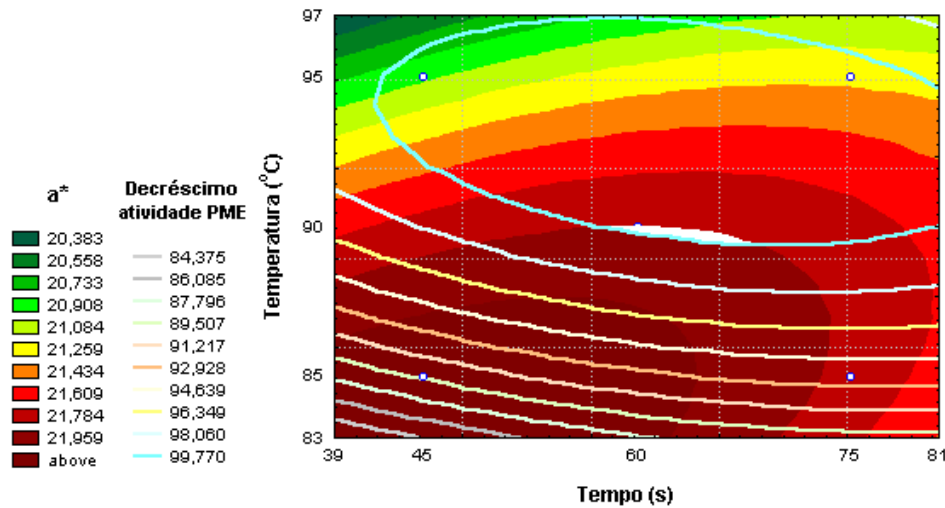


Figura 4.10. Sobreposição das curvas de nível da coordenada de cor a^* e do decréscimo da atividade de PME.

Na Figura 4.10, a área do gráfico representada pelo decréscimo da atividade de PME está sobreposta ao gráfico do parâmetro de cor a^* na forma de linhas. Para atingir o objetivo de otimizar as duas respostas deve-se considerar simultaneamente a região onde haja o maior valor de a^* (região em vermelho escuro), e o maior decréscimo da atividade de PME (linha azul). Essa região, mostrada na Figura 4.10 como a área em branco, situa o tempo entre 59 e 68s e a temperatura ao redor de 90°C.

A partir dos valores de tempo e temperatura de pasteurização otimizados encontrados neste trabalho, conclui-se que o binômio 90°C/60s, encontrado na literatura para um grande número de sucos e polpas de diversas frutas, é aplicado idealmente para a polpa de pitanga. O uso desses valores pode ou não ser adequado para outras frutas, e por isso, é coerente a avaliação experimental dos parâmetros de tempo e temperatura de pasteurização para os vários frutos e produtos formulados com eles.

4. CONCLUSÃO

A otimização dos parâmetros tempo e temperatura, determinados através de planejamento experimental e do método de sobreposição de curvas de nível, indica o intervalo de tempo entre 59 e 68s e temperatura de 90°C para a pasteurização térmica da polpa de pitanga.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Especificações de cores de acordo com o sistema de notação Munsell – NBR 12694**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSIS, S. A.; LIMA, D. C.; OLIVEIRA, O. M. M. F. Activity of pectinmethylesterase, pectin content and vitamin C in acerola fruit at various stages of fruit development. **Food Chemistry**, Oxford, v. 74, p. 133-137, 2001.

ASSIS, S. A.; MARTINS, A. B. G.; GUAGLIANONI, D. G.; OLIVEIRA, O. M. M. F. Partial purification and characterization of pectinmethylesterase from acerola (*Malpighia glabra* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 14, p. 4103-4107, 2002.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2 ed. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2002.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, 9, 1973.

BURNETTE, F. S. Peroxidase and its relationship to food flavour and quality: a review. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 42, n. 1, p. 1-6, 1977.

CARDOSO, R. L.; FERREIRA, V. L.; MONTGOMERY, M. W.; YOTSUYANAGI, K. Efeito do tempo, luz e temperatura na cor da geléia de jambo vermelho (*Eugenia malaccensis* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 28-31, 1997.

CHAN, M. M.; MARTINELLI, C. K. The effect of color on perceived flavor intensity and acceptance of foods by young adults and elderly adults. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 57, n. 6, p. 657-659, 1997.

CHEN, B. H.; PENG, H. Y.; CHEN, H. E. Changes of carotenoids, color, and vitamin A contents during processing of carrot juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 43, n. 7, p. 1912-1918, 1995.

CLEMENTE, E. Isolamento, purificação e termoestabilidade da isoperoxidase do suco de laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 1-5, 1996.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214-219, 1980.

FAYYAZ, A.; ASBI, B. A.; GHANZALI, H. M.; CHE MAN, Y. B.; JINAP, S. Stability studies of papaya pectinesterase. **Food Chemistry**, Oxford, v. 53, p. 391-396, 1995.

HAISMAN, D. R.; CLARKE, M. W. Interfacial factor in heat-induced conversion of chlorophyll to pheophytin in green leaves. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 26, n. 8, p. 1111-1126, 1975.

HOLSCHUH, H. J. **Isolamento, purificação e caracterização bioquímica da peroxidase de carambola (*Averrhoa carambola* L.)**. 2000. 159p. Tese (Doutor em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

KERTESZ, Z. I. Pectic enzymes. In: COLOWICK, S. P.; KAPLAN, N.O. **Methods of Enzymology**, v.1,. Academic Press: New York, p. 158, 1955.

KHAN, A. A.; ROBINSON, D. S. The thermostability of purified mango isoperoxidases. **Food Chemistry**, Oxford, v. 47, p. 53-59, 1993.

KHAN, A. A.; ROBINSON, D. S. Hydrogen donor specificity of mango isoperoxidases. **Food Chemistry**, Oxford, v. 49, p. 407-410, 1994.

KIM, H. B.; TADINI, C. C.; SINGH, R. K. Effect of different pasteurization conditions on enzyme inactivation of orange juice in pilot scale experiments. **Journal of Food Process Engineering**, v. 22, n. 5, p. 395-403, 1999.

LABIB, A. A. S.; EL-ASHWAH, F. A.; OMRAN, H. T.; ASKAR, A. Heat-inactivation of mango pectinesterase and polygalacturonase. **Food Chemistry**, Oxford, v. 53, p. 137-142, 1995.

LAWLESS, H.T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food**. New York: Chapman & Hall, 1998. 819p.

LEITÃO, M. F. F. Microbiologia das frutas tropicais e seus produtos. In: MEDINA, J. C. **Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1980. p. 83-144. (Série Frutas Tropicais - 10).

LESZKOWIAT, M. J.; BARICHELLO, V.; YADA, R. Y.; COFFIN, R. H.; LOUGHEED, E.C.; STANLEY, D. W. Contribution of sucrose to nonenzymatic browning in potato-chips. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 1, p. 281- 285, 1990.

LOURENÇO, E. J.; NEVES, V. A. Peroxidase solúvel de pêssego: purificação parcial e propriedades. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 42-48, 1997.

LU, A. T.; WHITAKER, J. R. Some factors affecting rates of heat inactivation and reactivation of horseradish peroxidase. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 39, p. 1173-1178, 1974.

MELLO, E. T.; CLEMENTE, E. Thermostability of crude extract of peroxidase from pineapple. **Revista Unimar**, Maringá, v. 18, n. 4, p. 757-763, 1996.

ROBINSON, D. S. Peroxidases and catalases in foods. In: ROBINSON, D. S.; ESKIN, N. A. M. **Oxidative enzymes in foods**. London: Elsevier Applied Science, 1991, p. 1-47.

SILVA, M. F.V. **Efeito dos diferentes tratamentos e embalagens nas características da polpa de acerola e na determinação dos teores de ácido ascórbico e das antocianinas durante o armazenamento**. 1999. 224p. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

STATSOFT, INC. (1995). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104, (918) 583-4149, fax: (918) 583-4376.

TOCCHINI, R. P.; NISIDA, A. L. A. C.; DE MARTIN, Z. J. **Industrialização de polpas, sucos e néctares de frutas**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1995. 85p. (Manual).

VERSTEEG, C.; ROMBOOTS, F. M.; SPAANSEN, C. H.; PILNIK, W. Thermostability and orange juice cloud destabilizing properties of multiple pectinesterases from orange. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 45, n. 4, p. 969-971, 1980.

WICKER, L. Stability of juice beverages as affected by pectinmethylesterase. **Nutraceutical Beverages: Chemistry, Nutrition and Health Effects ACS Symposium Series**, Washington, n. 871, p. 133-148, 2004.

CAPÍTULO 5

ESTUDO REOLÓGICO DA POLPA DE PITANGA EM TEMPERATURAS DE PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA

RESUMO

Neste trabalho foi estudado o comportamento reológico da polpa de pitanga na faixa de temperatura de pasteurização de 83 a 97°C, bem como na temperatura de 20°C (referência), usando um reômetro digital com geometria de cilindros coaxiais. Os resultados indicaram que a polpa de pitanga (7,97°Brix) apresentou comportamento pseudoplástico. Dois modelos foram empregados para o ajuste dos dados experimentais: Lei de Potência e Herschel-Bulkley. O modelo de Herschel-Bulkley foi considerado o mais adequado para representar o comportamento reológico da polpa de pitanga nas temperaturas estudadas. Os índices de comportamento de fluido (n), variaram na faixa de 0,448 a 0,627. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente pôde ser descrito pela equação análoga à de Arrhenius, observando-se a diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. A energia de ativação do escoamento viscoso da polpa de pitanga, para a taxa de deformação de 100s^{-1} , foi de $2,947\text{ Kcal.gmol}^{-1}$.

Palavras-chave: reologia, polpa, pitanga, temperatura

RHEOLOGICAL STUDY OF PITANGA (*Eugenia uniflora* L.) PULP AT HEAT PASTEURISATION TEMPERATURES

SUMMARY

The rheological behaviour of pitanga (*Eugenia uniflora* L.) pulp in the range of temperatures used for pasteurisation (83 to 97°C) was studied, as also at 20°C (reference), using a digital rheometer with coaxial cylinder geometry. The results indicated that pitanga pulp (7.97°Brix) presented pseudoplastic behaviour. Two models were used to fit the experimental data: the Potency Law and Herschel-Bulkley model, and the Herschel-Bulkley model was considered more adequate to represent the rheological behaviour of pitanga pulp in the range of temperatures studied. The fluid behaviour indexes (n) varied in the range from 0.448 to 0.627. The effect of temperature on the apparent viscosity could be described by an equation analogous to that of Arrhenius, observing a decrease in apparent viscosity with increase in temperature. The activation energy for the viscous flow of pitanga pulp for a deformation rate of 100s^{-1} , was $2.947\text{ Kcal.gmol}^{-1}$.

Key words: rheology, pulp, pitanga, temperature

1. INTRODUÇÃO

Na indústria de alimentos, a polpa de fruta pode ser utilizada como matéria-prima para a obtenção de diversos produtos, como néctares, geléias, sorvetes, e etc., mas também como produto de venda direta ao consumidor. O conhecimento do comportamento reológico das polpas de frutas, em especial as frutas de origem tropical, é fundamental para a avaliação da qualidade e cálculos em processos de engenharia, como por exemplo: cálculo de vazão, seleção de bombas, determinação da perda de carga em tubulações, etc. (HOLDSWORTH, 1993; IBARZ; GONÇALVES; EXPLUGAS, 1996).

Tanglertpaibul e Rao (1987) reportaram que o comportamento reológico de sucos e polpas de frutas está ligado aos teores de sólidos solúveis em suspensão em função da forma, tamanho, concentrações das partículas suspensas e da estrutura do sistema. As referências que tratam da reologia de derivados de frutas estabelecem que a temperatura, a concentração de sólidos solúveis, o teor de pectina e de sólidos insolúveis são os principais responsáveis pelo comportamento reológico (QUEIROZ, 1998).

Nas diversas etapas do processamento de sucos e polpas de frutas, diferentes temperaturas são aplicadas, como por exemplo, temperaturas de pasteurização e temperaturas de resfriamento. Por isso, o comportamento reológico desses fluidos deve ser estudado nas várias faixas de temperatura utilizadas nos processos industriais (SARAVACOS, 1970).

A escassez de dados reológicos sobre frutas tropicais na literatura tem levado a indústria nacional a utilizar no processo de fabricação desses sucos condições semelhantes às aplicadas na produção do suco de laranja. Todavia, por terem propriedades diferentes, os resultados não atingem o mesmo nível de qualidade (VIDAL, 1997).

As polpas de frutas, dispersões de moléculas ou partículas assimétricas, apresentam no repouso um estado desordenado e quando submetidas a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas ou partículas tendem a orientar-se na direção da força aplicada. Quanto maior a força aplicada, maior será a ordenação, e conseqüentemente, menor a viscosidade aparente. Como a viscosidade aparente das polpas de frutas

decrece com o aumento da tensão de cisalhamento, estas são classificadas como fluidos pseudoplásticos (SUGAI, 2002).

São dois os modelos reológicos que geralmente descrevem o comportamento reológico de sucos e polpas de frutas: Modelo de Ostwald-de-Waele (ou Lei da Potência) e o Modelo de Herschel-Bulkley (ou Lei de Potência Generalizada), sendo que este último se diferencia do primeiro apenas pela inclusão do parâmetro de tensão inicial de cisalhamento (τ_0) (HOLDSWORTH, 1993).

Segundo Holdsworth (1993), o modelo de Herschel-Bulkley (ou Lei de Potência Generalizada) também pode descrever o comportamento reológico de sucos e polpas de frutas. Esse modelo se diferencia do modelo da Lei de Potência apenas pela inclusão do parâmetro de tensão inicial de cisalhamento (τ_0). Os modelos são descritos a seguir:

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad \text{(Lei de Potência)}$$

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n \quad \text{(Herschel-Bulkley)}$$

onde: τ = tensão de cisalhamento (Pa)

τ_0 = tensão inicial de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s^{-1})

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

n = índice de comportamento (adimensional)

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento reológico da polpa de pitanga empregando os modelos da Lei de Potência (Ostwald-de-Waele) e da Lei de Potência Generalizada (Herschel-Bulkley), na faixa de temperatura de pasteurização de 83 a 97°C.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL

2.1.1. Matéria-Prima

- Polpa de pitanga obtida por despulpamento dos frutos *in natura*, provenientes de Valinhos-SP, em extrator de escovas (DTA-FEA) da marca BERTUZZI;

2.1.2. Equipamentos

- Reômetro digital com geometria de cilindros coaxiais da marca BROOKFIELD modelo RV-DV III;
- Banho termostático da marca BROOKFIELD modelo TC500.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Análises físicas e físico-químicas

- pH: medido em potenciômetro da marca Micronal mod. B-374, calibrado com soluções-tampão nos pHs 4 e 7 a 20°C, segundo método nº981.12 da AOAC (1997);
- Acidez Total Titulável: segundo método nº942.15 da AOAC (1997), e expressa em porcentagem de ácido cítrico;
- Sólidos Solúveis (como °Brix): baseado na leitura direta dos graus Brix da amostra a 20°C em refratômetro digital da marca LEICA, mod. AR200;
- Sólidos Totais: determinado em analisador de umidade por infravermelho da marca GEHAKA, mod. IV 2002).

2.2.2. Caracterização reológica

As análises reológicas na polpa de pitanga foram realizadas utilizando-se o adaptador UL (*Ultra Low Adapter*), que consiste de um conjunto *spindle*/câmara, e fornece medidas precisas e reprodutivas da viscosidade e da taxa de deformação, devido ao fato de possuir uma relação muito exata entre o *spindle* e a câmara. Os ensaios, em triplicata, foram realizados variando-se a velocidade de forma crescente (10-250rpm) e decrescente (250-10rpm) com incrementos de 10rpm a cada 15 segundos. O tempo de corrida total foi

de 6:30 minutos, onde foram obtidos 50 pontos, em que foram medidos a viscosidade aparente (mPa.s), a tensão de cisalhamento (Pa) e a taxa de deformação (s^{-1}). As temperaturas avaliadas foram 83, 85, 90, 95 e 97°C, além da temperatura de 20°C, tida como referência.

2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com auxílio do programa *Statistica*[®] versão 5.0 (STATSOFT INC., 1995) foi feito o ajuste não-linear (Quasi-Newton) para os modelos da Lei de Potência (Ostwald-de-Waele) e da Lei de Potência Generalizada (Herschel-Bulkley). Para a obtenção dos ajustes dos modelos foram utilizadas as curvas ascendentes e descendentes, sendo tomado o valor médio da tensão de cisalhamento, para cada taxa de deformação nas diversas temperaturas. Os parâmetros estatísticos avaliados para verificar a adequação do modelo foram: coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e soma dos quadrados dos resíduos (*SSR*). Quanto maior o valor de χ^2 , maior a diferença entre as frequências observadas e previstas pelo modelo. Desta forma, o modelo que melhor se ajusta ao modelo é aquele com os maiores valores de R^2 e os menores valores de χ^2 e *SSR*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE PITANGA

Na Tabela 5.1 são mostrados os resultados de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis e sólidos totais da polpa de pitanga utilizada neste estudo.

Tabela 5.1. Caracterização física e físico-química da polpa de pitanga.

Parâmetro	Valor*
pH	3,34±0,01
Acidez Total Titulável (g de ácido cítrico/100g)	1,23±0,02
Sólidos Solúveis (como °Brix)	7,97±0,06
Sólidos Totais (%) ¹	8,88±0,02

* Média ± desvio padrão (base úmida).

3.2. COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE PITANGA

A Figura 5.1 mostra a influência da temperatura na relação entre a tensão de cisalhamento (τ) e a taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) nas diferentes temperaturas estudadas para a polpa de pitanga. Esse gráfico (Figura 5.1) é representado pelos pontos experimentais médios e suas respectivas curvas de ajuste ao modelo de Herschel-Bulkley. É observado um comportamento não-Newtoniano, dado pela não linearidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada. Além disso, verifica-se que as inclinações das curvas de escoamento diminuem com o aumento da taxa de deformação, evidenciando o decréscimo da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, e confirmando o comportamento pseudoplástico da polpa de pitanga.

Holdsworth (1971) afirma que a maioria dos fluidos alimentícios apresenta comportamento pseudoplástico, cuja viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação, como pode ser observado na Figura 5.2.

Trifiró et al. (1987) relataram o comportamento pseudoplástico de sucos e polpas de frutas, e verificaram que esse afastamento do comportamento Newtoniano é determinado pelo conteúdo de polpa. Tanglertpaibul e Rao (1987) mostraram que o comportamento reológico de sucos e polpas de frutas está relacionado aos teores de sólidos solúveis em suspensão em função da forma, tamanho, concentrações das partículas suspensas e da estrutura do sistema. Segundo Ibarz, Marco e Pagan (1993) e Ibarz, Garvin e Costa (1996), a presença de substâncias pécticas e/ou partículas sólidas dispersas é responsável pelo comportamento não-Newtoniano, que pode ser descrito através dos modelos da Lei de Potência, Herschel-Bulkley e Bingham.

A influência da temperatura no comportamento das curvas das Figuras 5.1 e 5.2 é bastante pronunciada, pois observa-se que a curva na temperatura de 20°C (temperatura de referência) está em uma faixa distinta de valores de tensão de cisalhamento e viscosidade, em relação às temperaturas de pasteurização (83, 85, 90, 95 e 97°C). De acordo com Queiroz (1998) e Silva (2000), a temperatura é um dos fatores que mais afetam a viscosidade de polpa de frutas.

Os valores de viscosidade aparente da polpa de pitanga variaram de 0,008 a 0,196Pa (Figura 5.2), para os binômios temperatura/taxa de deformação de 97°C/306s⁻¹ e 20°C/12s⁻¹, respectivamente.

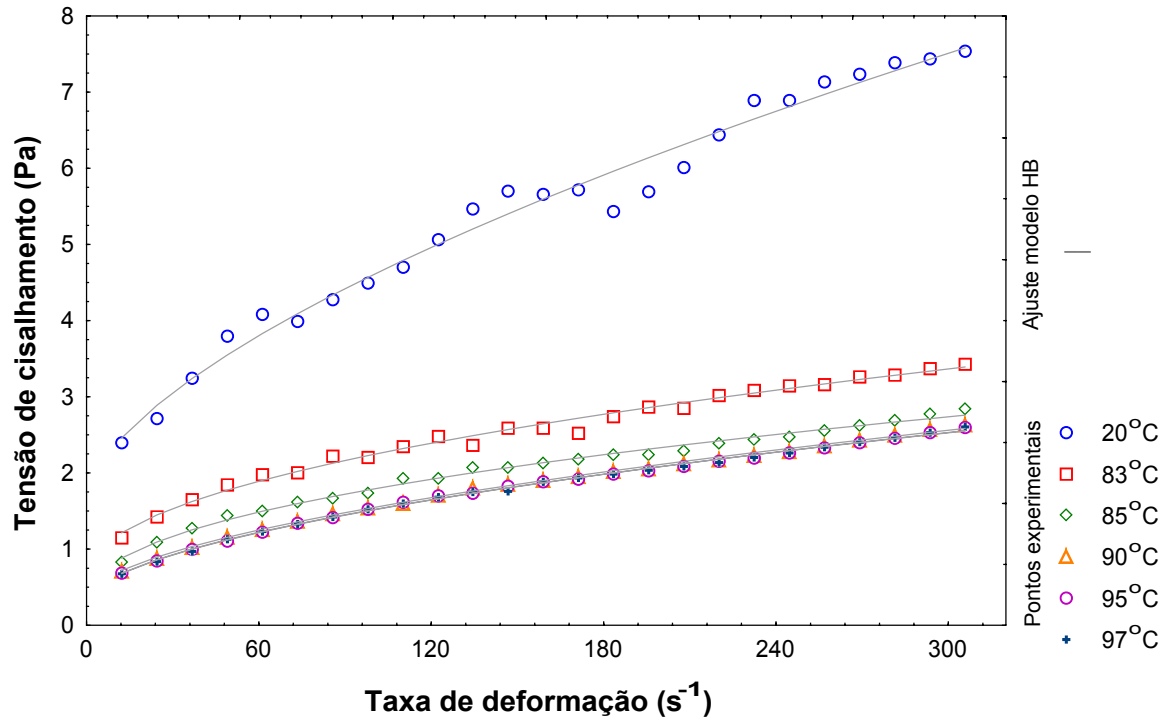


Figura 5.1. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para a polpa de pitanga, em diferentes temperaturas.

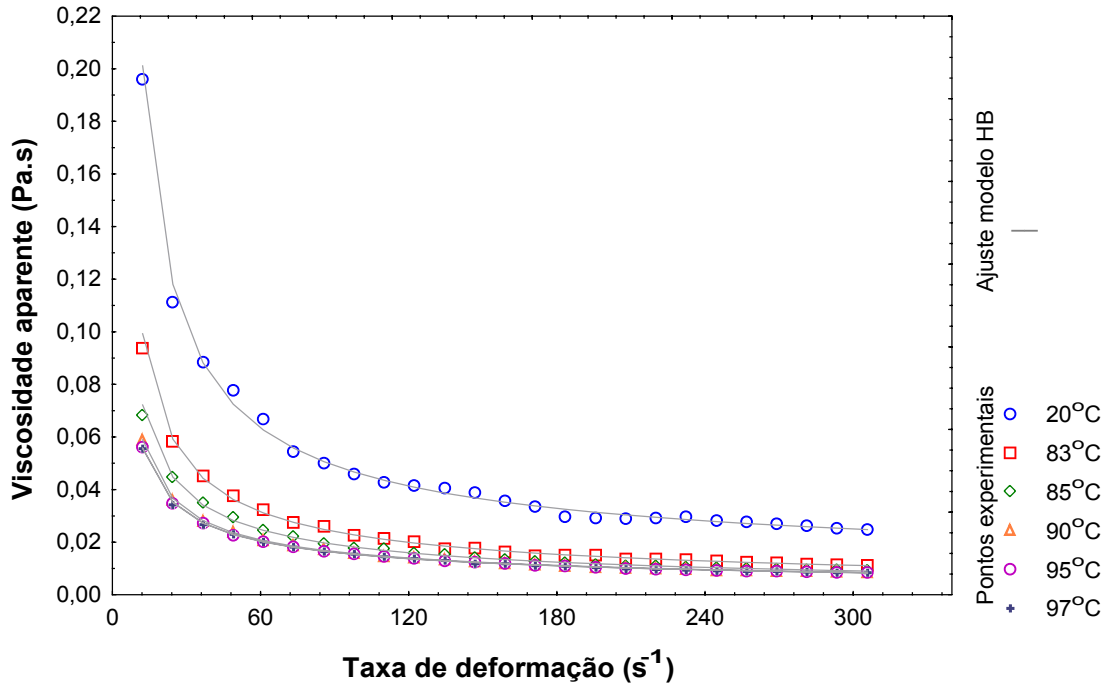


Figura 5.2. Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação para a polpa de pitanga, em diferentes temperaturas.

Na Tabela 5.2 são apresentados os valores da viscosidade aparente da polpa de pitanga para as taxas de deformação de 100, 200 e 300s⁻¹, pois esses constituem valores importantes nas operações industriais de processamento, onde a taxa de deformação é sempre maior que 100s⁻¹. Como já observado na Figura 5.2, verifica-se a diminuição da viscosidade aparente considerando isoladamente os aumentos da temperatura e da taxa de deformação.

Tabela 5.2. Viscosidade aparente da polpa de pitanga nas taxas de deformação de 100, 200 e 300s⁻¹.

Temperatura (°C)	Viscosidade aparente (mPa.s)*		
	100s ⁻¹	200s ⁻¹	300s ⁻¹
20	45,98±2,68	29,10±1,59	24,67±1,07
83	22,53±1,71	14,96±2,91	11,21±1,63
85	17,75±1,52	11,45±1,04	9,31±0,71
90	15,76±1,49	10,50±1,05	8,62±0,66
95	15,57±1,61	10,39±1,00	8,52±0,70
97	15,61±1,52	10,43±1,20	8,53±0,70

*Média±desvio-padrão

3.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS REOLÓGICOS DA POLPA DE PITANGA

A Tabela 5.3 apresenta os valores dos parâmetros reológicos e estatísticos obtidos para a polpa de pitanga nas temperaturas de 20, 83, 85, 90, 95 e 97°C, através dos ajustes aos modelos da Lei de Potência e Herschel-Bulkley.

Tabela 5.3. Parâmetros reológicos e estatísticos para a polpa de pitanga.

Lei de Potência						
	20°C	83°C	85°C	90°C	95°C	97°C
K	0,738	0,463	0,325	0,213	0,201	0,197
n	0,403	0,346	0,372	0,434	0,442	0,446
R ²	0,974	0,986	0,992	0,995	0,996	0,996
χ^2	0,299	0,052	0,025	0,023	0,019	0,020
SSR	1,443	0,132	0,055	0,032	0,025	0,028
Herschel-Bulkley						
	20°C	83°C	85°C	90°C	95°C	97°C
τ_0	1,674	0,621	0,301	0,351	0,291	0,299
K	0,163	0,179	0,189	0,091	0,100	0,095
n	0,627	0,479	0,448	0,558	0,545	0,553
R ²	0,981	0,989	0,993	0,998	0,998	0,998
χ^2	0,193	0,045	0,024	0,007	0,007	0,008
SSR	1,037	0,105	0,048	0,015	0,014	0,015

Observa-se na Tabela 5.3, que os valores do índice de comportamento (n) estão abaixo da unidade, configurando o caráter pseudoplástico da polpa de pitanga. Esse parâmetro reológico variou na faixa de 0,346 a 0,446, para o modelo da Lei de Potência, e na faixa de 0,448 a 0,627, para o modelo de Herschel-Bulkley.

Pelegrine, Vidal e Gasparetto (2000) verificaram o comportamento pseudoplástico nas polpas de manga e abacaxi, sendo este efeito nitidamente mais pronunciado para as polpas integrais do que para as polpas clarificadas por centrifugação.

De acordo com Ferreira et al. (2002), a polpa de goiaba apresenta valores de índice de comportamento (n) abaixo da unidade, indicando um comportamento pseudoplástico, nas temperaturas entre 10 e 60°C.

Silva (2000) relata que o valor do índice de comportamento (n) indica o grau de pseudoplasticidade de sucos e polpas de frutas, e quanto mais afastado esse se encontrar da unidade, maior a pseudoplasticidade do produto.

Holdsworth (1971) mostra que os valores de índice de comportamento (n) para purês de frutas situam-se, em sua maioria, na faixa de 0,30 a 0,50, e que a variação desse parâmetro é função de diversas variáveis, tais como: variedade, processamento, grau de maturação e método de determinação dos parâmetros reológicos.

Saravacos (1970) estudou o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente de purês de maçã, pêsego e pêra, e verificou que o índice de consistência (K) diminuía significativamente em altas temperatura, porém o índice de comportamento (n) não era afetado.

Comparando-se os ajustes aos modelos da Lei de Potência e Herschel-Bulkley, observa-se que ambos os modelos representam satisfatoriamente o comportamento da polpa de pitanga. No entanto, o modelo de Herschel-Bulkley apresentou valores mais elevados para o coeficiente de determinação (R^2), e os menores valores para o teste de qui-quadrado (χ^2) e também para a soma dos quadrados dos resíduos (SSR). Isso mostra que o modelo de Herschel-Bulkley é mais adequado para descrever o comportamento reológico da polpa de pitanga em todas as temperaturas avaliadas.

3.4. EFEITO DA TEMPERATURA

Em geral, o efeito da temperatura na viscosidade aparente (η_a), a uma taxa de deformação específica, tem sido expresso por uma equação análoga à de Arrhenius, mostrada a seguir (HOLDSWORTH, 1971; IBARZ et al., 1992).

$$\eta_a = \eta_o \exp\left(\frac{E_{at,\eta}}{RT}\right)$$

onde:

η_a = viscosidade aparente (Pa.s)

η_o = constante (Pa.s)

$E_{at,\eta}$ = energia de ativação para escoamento viscoso (kcal.gmol⁻¹)

R = constante dos gases (1,987.10⁻³ kcal.gmol⁻¹.K⁻¹)

T = temperatura absoluta (K)

A equação de Arrhenius indica a tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. A ordem de grandeza da energia de ativação indica a dependência da viscosidade com a temperatura, sendo que o aumento da temperatura provoca um efeito de diminuição da viscosidade (SARAVACOS, 1970; HOLDSWORTH, 1971; SILVA, 2000; GRATÃO; BERTO; SILVEIRA JÚNIOR, 2004).

A Figura 5.3 representa os dados experimentais de viscosidade aparente em função da temperatura para as taxas de deformação de 100, 200 e 300s⁻¹ e seus respectivos ajustes não-lineares ao modelo de Arrhenius.

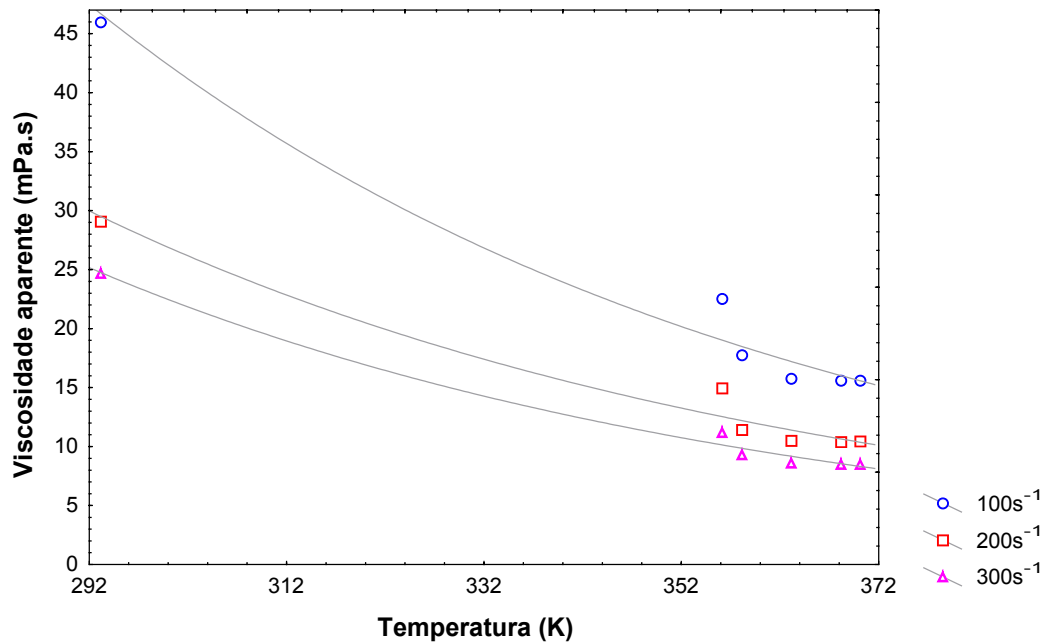


Figura 5.3. Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de pitanga nas taxas de deformação de 100, 200 e 300s⁻¹.

Tabela 5.4. Parâmetros de Arrhenius e coeficiente de determinação para a polpa de pitanga submetida às taxas de deformação de 100, 200 e 300s⁻¹.

Parâmetros do modelo de Arrhenius	Taxa de deformação		
	100s ⁻¹	200s ⁻¹	300s ⁻¹
η_0 (mPa.s)	0,293	0,234	0,148
$E_{at,\eta}$ (kcal.gmol ⁻¹)	2,947	2,812	2,981
Parâmetro estatístico			
R^2	0,975	0,970	0,990

De acordo com a Tabela 5.4, a variação explicada em torno da média (R^2) apresentou altos valores para as taxas de deformação estudadas. Os valores R^2 variaram de 0,970 a 0,990, indicando a boa explicação da equação tipo Arrhenius para avaliação do efeito da temperatura na polpa de pitanga.

O valor de energia de ativação ($E_{at,\eta}$) para escoamento viscoso da polpa de pitanga a $100s^{-1}$ (taxa de deformação referência) foi de $2,947 \text{ Kcal.gmol}^{-1}$ (Tabela 5.3), sendo esse aproximado de outros valores de $E_{at,\eta}$ encontrados na literatura para diversas polpas de frutas.

Saravacos (1970) relatou ter determinado valores de $E_{at,\eta}$ para escoamento viscoso em purês de maçã (11°Brix), pêssego ($11,7^\circ\text{Brix}$) e pêra (16°Brix), sendo de 1,2, 1,7 e 1,9 Kcal.gmol^{-1} , respectivamente. Vitali, Roig e Rao (1974) citam valores de $E_{at,\eta}$ para escoamento viscoso em suco de maracujá ($15,6^\circ\text{Brix}$) de $4,5 \text{ Kcal.gmol}^{-1}$.

4. CONCLUSÕES

- O comportamento reológico da polpa de pitanga na faixa de temperatura de pasteurização estudada (83 a 97°C), assim como na temperatura de referência (20°C), pode ser representado pela equação de Herschel-Bulkley.
- Os índices de comportamento de fluido (n) encontraram-se abaixo da unidade, caracterizando o comportamento pseudoplástico da polpa de pitanga.
- A viscosidade aparente da polpa de pitanga diminuiu com o aumento da temperatura e da taxa de deformação.
- O efeito da temperatura pôde ser avaliado de acordo com a equação tipo Arrhenius, sendo obtidos os valores de energia de ativação para o escoamento viscoso da polpa de pitanga.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaithersburg: Patricia Cunniff (Ed.), 1997.

FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J. de M.; CONCEIÇÃO, R. S. da; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, n.2, p. 176-184, 2002.

GRATÃO, A. C. A.; BERTO, M. I.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Reologia do açúcar líquido invertido: influência da temperatura na viscosidade. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, 2004.

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

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

IBARZ, A.; GONZALES, C.; EXPLUGAS, S.; VICENTE, M. Rheology of clarified juices. I. Peach juices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 15, n. 1, p. 49-61, 1992.

IBARZ, A.; MARCO, F.; PAGAN, J. Rheology of persimmon juices. **Fruit Processing**, Schonborn, v.3, n. 5, p. 182-187, 1993.

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

IBARZ, A.; GONZALES, C.; EXPLUGAS, S. Rheology of clarified passion fruit juices. **Fruit Processing**, Schonborn, v. 6, n. 8, p. 330-333, 1996.

PELEGRINE, D. H.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 128-131, 2000.

QUEIROZ, A. J. **Análise do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga.** 1998. 109p. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

RAO, M. A.; ANANTHESWARAM, R. C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**, Chicago, v. 36, n. 2, p. 116-126, 1982.

SARAVACOS, G. D. Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 35, n. 2, p. 122-125, 1970.

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

STATSOFT, INC. (1995). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104, (918) 583-4149, fax: (918) 583-4376.

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

TANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M.A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, n. 1, p. 141-145, 1987.

TRIFIRÓ, A.; SACCANI, G.; GHERARDI, S.; BIGLIARDI, D. Effect of content and sizes of suspended particles on the rheological behaviour of apricot purees. **Industria Conserve**, Parma, v. 62, p. 97-104, 1987.

VIDAL, J. R. M. B. **Estudo reológico do suco de manga - efeito dos sólidos insolúveis.** 1997. 81p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

CAPÍTULO 6

POLPA DE ACEROLA: ESTUDO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO E ESTABILIDADE SOB CONGELAMENTO

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar os processos de despulpamento e a estabilidade da polpa de acerola preservada por congelamento (-18°C) durante 180 dias. Os dados obtidos mostram que dos equipamentos testados, o mais adequado para a extração da polpa de acerola foi o extrator de escovas, pois apresentou um maior rendimento (62,83%) e menor alteração da cor instrumental. No estudo de estabilidade da polpa de acerola, obtida no extrator de escovas, verificou-se que a mesma apresentou estabilidade física, físico-química e sensorial até o final do experimento, exceto para o parâmetro de cor instrumental ΔE^* (diferença total de cor), que variou significativamente ($p \leq 0,05$) durante o período de estocagem. Paralelamente, foi observado um decréscimo significativo estatisticamente ($p \leq 0,05$) no teor de antocianinas totais (16,23%). De acordo com a análise sensorial do atributo cor, a variação no teor de antocianinas totais não comprometeu significativamente ($p > 0,05$) a aceitabilidade da polpa de acerola estocada por 180 dias a -18°C.

Palavras-chave: acerola, polpa, extração, estabilidade, pigmentos, sensorial

WEST INDIAN CHERRY PULP: STUDY OF THE EXTRACTION PROCESS AND STABILITY DURING FROZEN STORAGE

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the pulping process and determine the stability of the pulp during 180 days of frozen storage (-18°C). The data obtained showed that of the equipment tested, the brush pulper was the most adequate for the extraction of West Indian cherry pulp, giving the highest yield (62.83%) and lowest change in instrumental colour. The frozen West Indian cherry pulp extracted using the brush pulper, showed excellent physical, physicochemical and sensory stability up to the end of the experiment, except for the instrumental colour parameter ΔE^* (total colour difference), which varied significantly ($p \leq 0.05$) during the storage period. In parallel a statistically significant ($p \leq 0.05$) decrease in total anthocyanins (16.23%) was observed. According to the sensory analysis for the attribute colour, the variation in total anthocyanins did not significantly ($p \leq 0.05$) compromise acceptability of West Indian cherry pulp stored for 180 days at -18°C.

Key words: West Indian cherry, pulp, extraction, stability, pigments, sensorial

1. INTRODUÇÃO

A importância da acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) está relacionada, principalmente, por seu caráter nutricional, representado pelo elevado teor de vitamina C, que motivou a crescente demanda pela fruta e o interesse de produtores e pesquisadores em todos os continentes. A acerola é considerada uma das maiores fontes naturais de vitamina C, superando em várias vezes frutas como goiaba, caju, laranja e limão, que são consideradas excelentes fontes dessa vitamina (ALVES et al., 1995; INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS, 1995).

A quantidade de vitamina C encontrada em acerola apresenta diferenças de acordo com a variedade, o estágio de maturação do fruto, a época da colheita, os métodos culturais, a fertilidade e disponibilidade de nutrientes do solo e o clima do local de cultivo (NAKASONE et al., 1966; HENSHALL, 1981).

A fruta está sendo utilizada na elaboração industrial de vários produtos, como polpa, suco natural, suco concentrado, suco liofilizado, néctar, compota, balas, recheios, comprimidos e cápsulas para uso farmacêutico, além da produção de ácido ascórbico puro. É usada ainda no enriquecimento de sucos e néctares de outras frutas, como abacaxi, mamão, pitanga, maracujá, pêra, maçã, etc; na preservação de sucos frigorificados e enlatamento de conservas. É utilizada para preservar e evitar o escurecimento que se verifica nos processos de congelamento e secagem de produtos industrializados à base de frutas, em face da forte ação antioxidante da vitamina C (FIGUERÊDO, 1998).

Diversas modificações indesejáveis podem ocorrer em sucos e polpas de frutas e são relacionadas ao crescimento de microorganismos, reações enzimáticas e químicas, especialmente de natureza oxidativa, que em geral comprometem a qualidade nutricional, a estabilidade física e as características sensoriais do produto.

As polpas de frutas congeladas, como qualquer outro alimento, são susceptíveis à deterioração durante estocagem. Inúmeras alterações indesejáveis ocorrem logo após sua produção e o grau destas alterações depende tanto da composição quanto das condições de estocagem e distribuição (FU; LABUZA, 1997).

A oxidação do ácido ascórbico, especialmente em solução aquosa, é favorecida por diversos fatores, como: presença de oxigênio e enzimas oxidativas (peroxidase, ácido ascórbico oxidase e citocromo oxidase), íons metálicos (Cu^{2+} , Ag^+ e Fe^{3+}), luz, pH alcalino e temperaturas elevadas (NAGY, 1980).

A degradação oxidativa da vitamina C ocorre tanto em condições anaeróbias quanto aeróbias. O primeiro caso é caracterizado pela oxidação do ácido ascórbico sendo formado o ácido dehidroascórbico, que então é irreversivelmente convertido a ácido 2,3-dicetogulônico. Posteriormente, o ácido 2,3-dicetogulônico tende a sofrer descarboxilação, e essa reação promove a formação de fural e CO_2 . Em condições aeróbicas, a oxidação da vitamina C também leva formação de furaldeídos, que facilmente sofrem polimerização produzindo pigmentos escuros (TANNEMBAUM, 1976; LEE; KADER, 2000).

Duas importantes classes de pigmentos são encontrados na acerola, as antocianinas e os carotenóides. Tais pigmentos são muito susceptíveis à oxidação e outras alterações que resultam em mudanças de coloração. Silva (1999) cita que as principais antocianidinas presentes na acerola são a malvidina, pelargonidina e cianidina. Paiva et al. (1999) relata que em diferentes seleções de acerola os teores de antocianinas totais variam de 1,97mg/100g a 46,44mg/100g. Cavalcante (1991) determinou os carotenóides presentes na acerola em frutos provenientes de três estados do Brasil: Pernambuco, Ceará e São Paulo, e verificou que os frutos produzidos em Pernambuco e Ceará apresentaram teores de β -caroteno entre 5 a 6 vezes maiores que os cultivados em São Paulo. Os carotenóides detectados na acerola foram o fitoflueno, α -caroteno, β -caroteno e β -criptoxantina; e o β -caroteno é o principal carotenóide da acerola ultrapassando 90% do teor de carotenóides totais.

Este trabalho teve como objetivos a avaliação dos processos de extração da polpa de acerola e o estudo de sua estabilidade em temperatura de congelamento (-18°C) por 180 dias.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL

2.1.1. Matéria-Prima

Foram utilizados frutos de acerola *in natura*, cultivados de forma orgânica, provenientes de um produtor situado na região de Indaiatuba --SP.

2.1.2. Equipamentos

- Tanque de aço inox;
- Despolpador inclinado com braços de escovas da marca BERTUZZI, dotado de peneira com diâmetro equivalente a 0,8mm de abertura da malha;
- Despolpador horizontal com pás de aço inoxidável da marca STERLING, dotado de peneira com diâmetro equivalente a 0,8mm de abertura da malha;
- Congelador horizontal de placas FRIGOSTRELLA DO BRASIL, mod. P.M-5.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Análises físicas, físico-químicas e químicas da polpa de acerola

Foram realizadas as seguintes análises físicas, físico-químicas e químicas para as polpas de acerola obtidas manualmente (Polpa padrão) e no mais eficiente despolpador de escala piloto, de acordo com os parâmetros de qualidade citados no item 2.2.2.

- pH: medido em potenciômetro da marca Micronal mod. B-374, calibrado com soluções-tampão nos pHs 4 e 7 a 20°C, segundo método nº981.12 da AOAC (1997);
- Acidez Total Titulável: segundo método nº942.15 da AOAC (1997), e expressa em porcentagem de ácido málico;

- Sólidos Solúveis (como °Brix): baseado na leitura direta dos graus Brix da amostra a 20°C em refratômetro digital da marca LEICA, mod. AR200;
- Sólidos Totais: determinado por secagem em estufa a vácuo da marca VWR Scientific Products mod. 1400E, a 65°C segundo método nº920.151 da AOAC (1997);
- Sólidos Totais: realizado em analisador de umidade por infravermelho da marca GEHAKA, mod IV 2002.
- Açúcares Redutores e Totais: titulação de oxi-redução (Lane e Eynon) segundo método nº31.034-6 da AOAC (1984), com auxílio de equipamento Redutec TE086 da marca TECNAL;
- Ácido Ascórbico: método nº43.065 da AOAC (1984), modificado por Benassi (1990), que se baseia na redução de 2,6-diclorofenolindofenol-sódico (DCFI) pelo ácido ascórbico;
- Antocianinas Totais: segundo a metodologia descrita por Fuleki e Francis (1968);
- Carotenóides Totais: segundo método descrito por Rodriguez-Amaya (1999);
- Composição Mineralógica: a polpa de acerola foi previamente liofilizada para a realização da digestão nítrico-perclórica (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, manganês, zinco e ferro) e por via seca (boro). Fósforo e boro foram quantificados por colorimetria, potássio por fotometria de chama, enxofre por turbidimetria, e cálcio, magnésio, cobre, manganês, zinco e ferro por espectrofotometria de absorção atômica, segundo Sarruge e Haag (1974);
- Determinação Instrumental de Cor: avaliada através de um espectrofotômetro Colorquest Hunterlab, usando um sistema de leitura CIELAB para reflectância especular incluída. As amostras foram colocadas em cubeta de vidro opticamente limpo com 10 mm de caminho óptico. Foi calculada a diferença total de cor (ΔE^*) de acordo com a equação 6.1, onde Δ é a diferença entre cada parâmetro de cor da amostra controle e a amostra submetida aos processos de extração ou a amostra armazenada a -18°C.

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (6.1)$$

2.2.2. Processos de extração de polpa de acerola

Cerca de 18kg de frutos foram selecionados segundo o grau de maturação, ausência de danos mecânicos e pragas. Em seguida foram lavados com água potável, sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 30ppm por 20 minutos, e então, novamente lavados com água potável para retirada do cloro. Os equipamentos de extração (pás e escovas) e utensílios foram previamente lavados com água e detergente, sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 200ppm por 30 minutos, e novamente lavados com água para retirada do cloro.

Foram utilizados 8kg de frutos *in natura* para cada extração (duplicata) em ambos despulpadores (pás e escovas). As polpas de acerola processadas nos dois despulpadores foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno, seladas, e submetidas a congelamento rápido em congelador de placas por 3 horas (-30°C). As embalagens plásticas (Polietileno de baixa densidade - PEBD) apresentavam geometria retangular, com dimensões médias de 34x24,5cm (comprimento x largura) e espessura média de $0,117\pm 0,001\text{mm}$, considerando as duas faces da embalagem. As polpas foram estocadas na câmara de congelamento (-18°C) do Departamento de Tecnologia de Alimentos – FEA – UNICAMP.

Com o objetivo de comparar os dois métodos de extração de polpa foram avaliados os seguintes parâmetros de qualidade: rendimento, cor instrumental, quebra de sementes segundo a metodologia proposta por Reed, Hendrix Jr. e Hendrix (1986) e aceitação sensorial de acordo com Stone e Sidel (1985). Foram também realizadas as análises microbiológicas referentes a bolores e leveduras, contagem total, coliformes totais e fecais, de acordo com Vanderzant e Splittstoesser (1992).

2.2.3. Análise sensorial

Os testes sensoriais aplicados, tanto no estudo de extração da polpa, quanto na avaliação da estabilidade da polpa congelada, empregaram a escala hedônica não estruturada para a avaliação de aparência, aroma e sabor, de acordo a metodologia descrita por Stone e Sidel (1985). Uma equipe de 40 provadores, consumidores de sucos e néctares de frutas tropicais e não treinados, recrutados dentre alunos, funcionários e professores da Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP), foi utilizada nestes testes.

A formulação de néctar de acerola empregada (12°Brix) foi previamente escolhida por uma equipe de 35 consumidores entre três formulações, sendo estas constituídas por 50% de polpa de acerola, 50% de água filtrada e adições crescentes de açúcar refinado para atingir diferentes níveis de doçura no produto (12, 14, 16°Brix).

As amostras foram apresentadas em cabines individuais, de forma monádica e casualizada, a temperatura de refrigeração (10°C) e em copos plásticos descartáveis de 50ml, codificados com algarismos de três dígitos.

Os resultados dos testes de aceitação sensorial foram analisados por Análise de Variância (ANOVA) e teste de médias de Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do programa *Statistica*® versão 5.0 (STATSOFT INC., 1995).

2.2.4. Análise estatística dos resultados

Todas as análises físicas, químicas e físico-químicas foram realizadas em triplicata, e os valores obtidos foram avaliados com o auxílio do programa *Statistica*® versão 5.0 (STATSOFT INC., 1995) empregando as seguinte metodologias estatísticas:

- Análise de variância (ANOVA) a 5% de significância estatística segundo o teste F;
- Teste de Tukey ($p \leq 0,05$);
- Análise de regressão linear.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ANÁLISES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E QUÍMICAS DA POLPA DE ACEROLA PADRÃO

Nas Tabelas 6.1 e 6.2 são apresentados os resultados referentes à caracterização física, físico-química e química e aos teores de minerais da polpa de acerola, respectivamente.

Tabela 6.1. Caracterização física, físico-química e química da polpa de acerola padrão.

Parâmetro	Valor*
pH	3,59±0,01
Acidez Total Titulável (g de ácido málico/100g)	1,29 ± 0,00
Sólidos Solúveis (como °Brix)	9,2 ± 0,00
Sólidos Totais (%)	11,55 ± 0,32
Açúcares Redutores (g glicose/100g)	5,60 ± 0,19
Açúcares Totais (g glicose/100g)	6,20 ± 0,24
Ácido Ascórbico (mg/100g)	1451,1± 24,18
Antocianinas Totais (mg/100g)	23,82 ± 0,41
Carotenóides Totais (µg/g)**	32,99 ± 1,53

* Média ± desvio padrão (base úmida).

** µg referente ao β-caroteno/g ($A^{1\%}_{1cm}$ β-caroteno em éter de petróleo = 2592).

Tabela 6.2. Teores médios dos minerais da polpa de acerola.

Macrominerais (mg/100g)*					
N	P	K	Ca	Mg	S
128,96±5,15	19,12±0,25	206,23±4,17	14,73±0,41	12,13±0,82	7,57±0,08
Microminerais (mg/100g)*					
B	Cu	Fe	Mn	Zn	
0,08±0,00	0,04±0,00	0,39±0,01	0,04±0,00	0,14±0,00	

* Média ± desvio padrão (base úmida).

3.2. ESTUDO DOS PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE POLPA DE ACEROLA

3.2. ESTUDOS DOS PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DA POLPA DE ACEROLA

Os resultados dos rendimentos do processo de extração e quebra de sementes para os dois equipamentos utilizados estão na Tabela 6.3.

Tabela 6.3. Rendimento e quebra de sementes da polpa de acerola extraída nos equipamentos de pás e escovas.

Equipamento de Extração	Rendimento (%)[*]	Quebra de Sementes (n^o partículas/g)[*]
Pás	47,34±0,87	0,00
Escovas	62,83±2,73	0,00

* Média ± desvio padrão.

O rendimento de extração está diretamente ligado ao custo do produto final. é importante ressaltar que a escolha de um equipamento não deve se restringir ao rendimento, a fim de não comprometer a qualidade sensorial e nutricional da polpa extraída. Comparando-se os rendimentos obtidos nos dois equipamentos de extração (Tabela 6.3), observou-se que o despulpador de escovas obteve 15,49 pontos percentuais (em relação à média) a mais de rendimento do que o despulpador de pás.

Os valores relacionados à presença de sementes na polpa (Tabela 6.3) mostram que ambos os equipamentos não provocaram a quebra das sementes dos frutos durante o processo de extração.

Outro parâmetro de qualidade de extração avaliado foi a cor instrumental (Tabela 6.4). Além das polpas extraídas nos equipamentos de pás e escovas também foi analisada a cor instrumental da polpa de acerola padrão. Pode-se observar que houve uma diferença significativa estatisticamente ($p \leq 0,05$) entre as polpas extraídas nos despulpadores de pás e escovas, mostrando a influência do tipo de processamento na qualidade do produto final.

Tabela 6.4. Parâmetros de cor (L*, a* e b*) das polpas obtidas do processamento (despolpadores de pás e escovas) e diferença total de cor (ΔE^*) das polpas obtidas nos equipamentos de pás e escovas em relação ao padrão.

Amostra	L*	a*	b*	ΔE^*
Polpa padrão	34,70 ± 0,08 ^c	23,02 ± 0,04 ^b	12,00 ± 0,09 ^c	-
Pás	36,02 ± 0,03 ^a	24,70 ± 0,14 ^a	13,95 ± 0,13 ^b	2,89 ± 0,16 ^a
Escovas	35,42 ± 0,06 ^b	22,35 ± 0,05 ^c	14,19 ± 0,03 ^a	2,41 ± 0,10 ^b

* Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

De acordo com a diferença total de cor (ΔE^*) das polpas de acerola (Tabela 6.4), verificou-se que a amostra proveniente do processamento de escovas obteve o menor valor de ΔE^* em relação ao padrão, ou seja, menor alteração na cor.

Na Tabela 6.5 é mostrada a qualidade microbiológica das polpas de acerola extraídas nos equipamentos de pás e escovas.

Tabela 6.5. Avaliação microbiológica das polpas de acerola extraídas nos equipamentos de pás e escovas.

Amostra	Contagem Total (UFC/g)	Bolores e Leveduras (UFC/g)	Coliformes Totais (NMP/g)	Coliformes Fecais (NMP/g)
Pás	5,7x10 ²	2,55x10 ³	<0,3 (est.)	<0,3 (est.)
Escovas	1,65x10 ² (est.)	2,85x10 ³	<0,3 (est.)	<0,3 (est.)

De acordo com Brasil (2000), a polpa de fruta *in natura*, congelada ou não, deverá observar os limites máximos microbiológicos: 5x10³ UFC/g para a soma de bolores e leveduras e 1NMP/g para coliforme fecal. Comparando os resultados microbiológicos obtidos (Tabela 6.5) com os valores máximos permitidos pela legislação vigente, conclui-se que ambas polpas encontram-se adequadas para consumo.

Também foram avaliados os atributos sensoriais das polpas obtidas nos equipamentos de pás e escovas. Segundo a Tabela 6.6, não houve diferença significativa estatisticamente ($p > 0,05$) para os atributos aparência, aroma e sabor entre as polpas provenientes dos equipamentos de pás e escovas.

Tabela 6.6. Aceitação sensorial dos atributos aparência, aroma e sabor das amostras de polpa de acerola extraídas nos equipamentos de pás e escovas (valores em notas).

Amostra	Atributo		
	Aparência	Aroma	Sabor
Pás	6,94 ± 1,93 ^a	7,05 ± 1,41 ^a	7,39 ± 1,24 ^a
Escovas	7,13 ± 1,45 ^a	6,98 ± 1,39 ^a	7,14 ± 1,37 ^a

* Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

Os parâmetros mais importantes para a avaliação da qualidade da polpa de acerola obtida por dois diferentes despulpadores foram o rendimento e a cor instrumental; de onde se pode concluir que o despulpador de escovas proporcionou maior rendimento de extração e menor alteração da cor medida instrumentalmente. Neste caso, a polpa extraída neste equipamento foi empregada no estudo de estabilidade sob temperatura de congelamento (-18°C).

3.3. ESTUDO DE ESTABILIDADE DA POLPA DE ACEROLA CONGELADA

3.3.1. Características físicas e físico-químicas da polpa de acerola congelada

Na Tabela 6.7 são mostrados os resultados das análises físicas, físico-químicas e químicas realizadas durante 180 dias de estocagem da polpa de acerola (-18°C).

Tabela 6.7. Caracterização física, físico-química e química da polpa de acerola congelada durante estocagem de 180 dias.

Parâmetro	Tempo de estocagem (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
pH	3,57 ± 0,01 ^{a b}	3,54 ± 0,02 ^b	3,60 ± 0,04 ^a	3,52 ± 0,02 ^{b c}	3,56 ± 0,01 ^{a b}	3,57 ± 0,01 ^{a b}	3,48 ± 0,02 ^c
ATT _{málico}	1,14 ± 0,03 ^{a b c d}	1,14 ± 0,02 ^{a b c d}	1,14 ± 0,01 ^{b c d}	1,16 ± 0,01 ^{c a b}	1,18 ± 0,01 ^{a c}	1,11 ± 0,01 ^{d b}	1,16 ± 0,01 ^{a b c}
ATT _{cítrico}	1,09 ± 0,03 ^{a b c d}	1,09 ± 0,02 ^{a b c d}	1,09 ± 0,01 ^{b c d}	1,06 ± 0,01 ^{c a b}	1,07 ± 0,01 ^{a c}	1,01 ± 0,01 ^{d b}	1,06 ± 0,01 ^{a b c}
SS	8,50 ± 0,00 ^d	9,57 ± 0,12 ^a	9,23 ± 0,06 ^c	8,90 ± 0,00 ^b	9,03 ± 0,06 ^b	9,00 ± 0,00 ^b	9,00 ± 0,10 ^b
AR	5,77 ± 0,08 ^{b c}	5,97 ± 0,07 ^a	5,87 ± 0,08 ^{a b}	5,74 ± 0,04 ^{b c}	5,67 ± 0,06 ^c	5,65 ± 0,06 ^c	5,95 ± 0,07 ^{a b}
AT	5,91 ± 0,20 ^{b e}	6,45 ± 0,06 ^a	6,27 ± 0,07 ^{a c}	6,00 ± 0,04 ^{b c e}	5,79 ± 0,04 ^{b e}	5,72 ± 0,10 ^e	6,06 ± 0,10 ^{b c}

ATT_{málico} = acidez total titulável (g ácido málico/100g); ATT_{cítrico} = acidez total titulável (g ácido cítrico/100g); SS = sólidos solúveis (°Brix); AR = açúcares redutores (g glicose/100g); AT = açúcares totais (g glicose/100g).

* Média ± desvio padrão.

** Médias com expoentes diferentes em uma mesma linha indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

De acordo com Brasil (2000), que determina os padrões de identidade e qualidade para a polpa de acerola, a polpa estudada (Tabela 6.7) se encontra dentro dos limites fixados para sólidos solúveis (mínimo 5,5°Brix), pH (mínimo 2,8), acidez total titulável (mínimo 0,8g/100g, expressa em ácido cítrico) e açúcares totais (mínimo 4g/100g e máximo 9,5g/100g), considerando os 180 dias de estocagem na temperatura de -18°C .

Nas Figuras 6.1, 6.2 e 6.3, onde são mostrados os valores de pH, acidez total titulável e sólidos solúveis para a polpa de acerola congelada durante 180 dias, verifica-se que não houve correlação linear significativa ($p>0,05$) da variação desses parâmetros em função do tempo armazenamento.

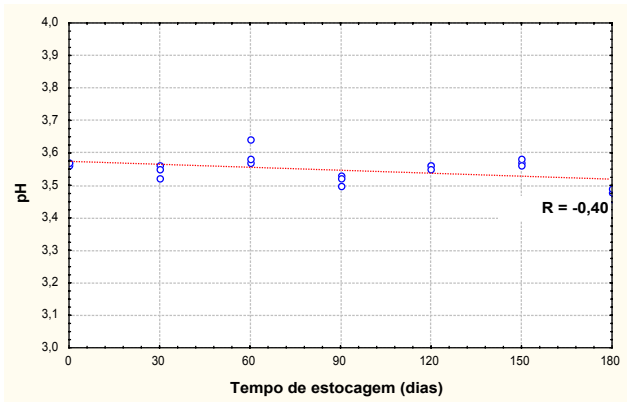


Figura 6.1. Variação do pH em função do tempo de estocagem a -18°C .

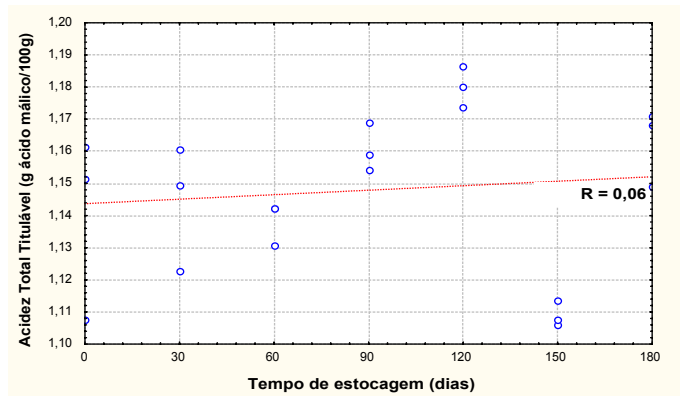


Figura 6.2. Variação da acidez total titulável em função do tempo de estocagem a -18°C .

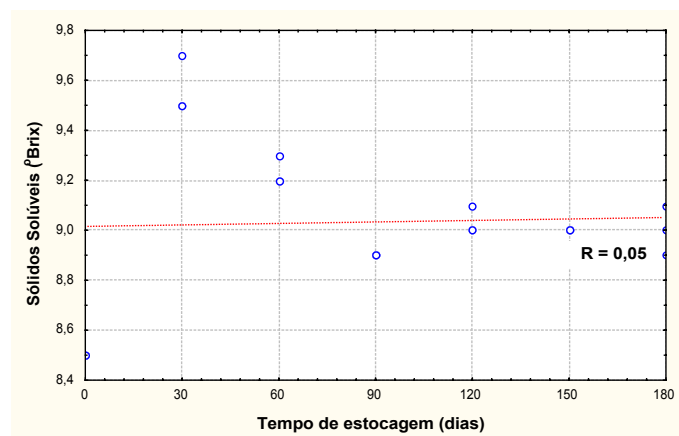


Figura 6.3. Variação dos sólidos solúveis em função do tempo de estocagem a -18°C .

De acordo com as Figura 6.4 e 6.5, verifica-se também que não há correlação linear significativa ($p > 0,05$) entre a variação dos teores de açúcares redutores e totais da polpa de acerola congelada e o tempo de estocagem estudado.

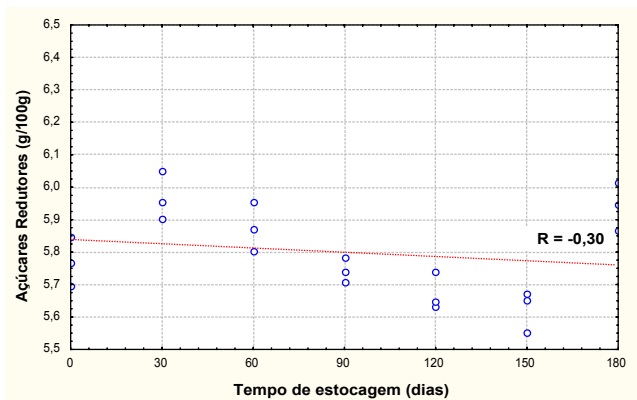


Figura 6.4. Variação dos açúcares redutores em função do tempo de estocagem a -18°C .

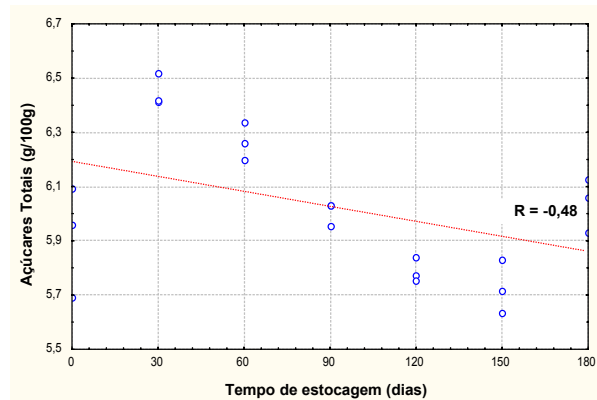


Figura 6.5. Variação dos açúcares totais em função do tempo de estocagem a -18°C .

3.3.2. Ácido ascórbico

De acordo com a Tabela 6.8, observou-se que a polpa de acerola congelada mostrou-se estável com relação a teor de ácido ascórbico. Os teores de ácido ascórbico encontrados estão dentro do limite previsto para polpa de acerola pela Instrução Normativa N^o 01, que é de no mínimo 800mg/100g (BRASIL, 2000).

Tabela 6.8. Teor de ácido ascórbico na polpa de acerola durante estocagem por 180 dias a -18°C .

Tempo de estocagem (dias)	Ácido ascórbico (mg/100g)
0	1250,00 ± 19,24 ^D
30	1313,44 ± 21,56 ^a
60	1262,57 ± 5,87 ^{a b}
90	1265,91 ± 34,42 ^{a b}
120	1307,58 ± 23,65 ^{a b}
150	1261,08 ± 24,4 ^{a b}
180	1256,37 ± 14,61 ^{a b}

* Média ± desvio padrão.

** Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

Silva (1999) encontrou perdas de ácido ascórbico de 22,16% e 18,9%, para as polpas de acerola congeladas e estocadas durante 180 dias a -18°C em duas diferentes embalagens, vidro transparente e latas metálicas, respectivamente.

Oliveira et al. (2001) avaliaram a estabilidade da polpa de acerola branqueada e estocada sob temperatura de congelamento, e verificaram que não houve variação significativa no teor de vitamina C ($1.319 \pm 58 \text{ mg}/100\text{g}$) ao longo de 12 meses.

3.3.3. Antocianinas totais

De acordo com a Tabela 6.9, o teor de antocianinas totais começou a decrescer significativamente ($p \leq 0,05$) a partir de 60 dias de estocagem. Considerando o tempo final de estocagem (180 dias), verificou-se uma diminuição média de 16,23% em relação ao tempo zero.

Tabela 6.9. Teor de antocianinas totais na polpa de acerola durante estocagem por 180 dias a -18°C.

Tempo de estocagem (dias)	Antocianinas Totais (mg/100g)
0	$20,64 \pm 0,35^a$
30	$20,23 \pm 0,04^a$
60	$18,90 \pm 0,03^b$
90	$17,52 \pm 0,38^{c e}$
120	$18,02 \pm 0,11^c$
150	$16,52 \pm 0,09^d$
180	$17,29 \pm 0,22^e$

* Média \pm desvio padrão.

** Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

Os teores de antocianinas totais presentes na polpa de acerola apresentaram alta e significativa ($p \leq 0,05$) correlação linear negativa ($R = -0,91$) com o tempo de estocagem na temperatura de -18°C (Figura 6.6). De acordo com a análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de significância estatística, a regressão linear obtida (Figura 6.6) pode ser utilizada para fins preditivos, pois o valor de $F_{\text{calculado}}$ (92,15) é cerca de 21 vezes maior que o valor de F_{tabelado} (4,38).

De acordo com Box e Wetz (1973), uma regra prática que pode ser empregada é considerar a regressão como útil para fins preditivos caso o valor $MQ_{regressão}/MQ_{resíduo}$ seja, pelo menos, de quatro a cinco vezes maior que o $F_{tabelado}$.

Agostini-Costa, Abreu e Rossetti (2001) avaliaram o teor de antocianinas totais em polpa de acerola congelada durante 12 meses de armazenamento e verificaram decréscimos de 10% e 17% após 8 e 12 meses de estocagem, respectivamente. Apesar da alteração no teor de antocianinas totais, não foi observada a descoloração da polpa de acerola.

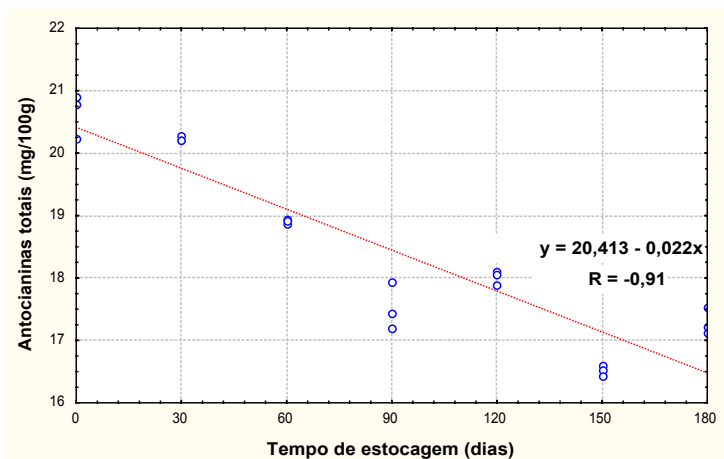


Figura 6.6. Variação das antocianinas totais em função do tempo de estocagem a -18°C .

No congelamento, as reações metabólicas são reduzidas, porém não totalmente inibidas (CHEFTEL; CHEFTEL; BESANÇON, 1983). As variações nos teores de antocianinas totais observadas ao longo do período de armazenamento poderiam ser justificadas pela interconversão das quatro formas estruturais de antocianinas (base quinoidal, cátion flavilium, pseudobase ou carbinol e chalcona) que, em solução aquosa ácida, se encontram em equilíbrio (MAZZA; BROUILLARD, 1987). Por outro lado, a degradação desses pigmentos pode também ter sido favorecida por ação enzimática, tendo em vista que a polpa produzida não foi submetida a nenhum tratamento térmico. Segundo Francis (1989), as glicosidases, também denominadas de antocianidases, hidrolisam as antocianinas liberando os açúcares e as antocianidinas as quais são mais instáveis do que as antocianinas.

3.3.4. Cor instrumental

Os resultados de cor instrumental da polpa de acerola (Tabela 6.10) mostram elevações significativas ($p \leq 0,05$) dos valores de luminosidade (L^*) e da coordenada de cromaticidade b^* com o tempo de estocagem. Os resultados referentes à coordenada a^* não apresentaram qualquer tendência de variação durante o armazenamento sob temperatura de congelamento. De forma geral, observou-se que com o tempo de estocagem houve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) estatisticamente da diferença total de cor (ΔE^*).

Tabela 6.10. Análise de cor instrumental da polpa de acerola congelada durante estocagem de 180 dias a -18°C .

Tempo de estocagem (dias)	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
0	$35,42 \pm 0,06^d$	$22,35 \pm 0,05^d$	$14,19 \pm 0,03^d$	-
30	$37,03 \pm 0,02^c$	$23,66 \pm 0,02^c$	$13,25 \pm 0,03^e$	$2,28 \pm 0,08^f$
60	$37,51 \pm 0,04^c$	$23,89 \pm 0,03^{bc}$	$13,59 \pm 0,05^{de}$	$2,66 \pm 0,08^e$
90	$38,08 \pm 0,09^c$	$24,84 \pm 0,18^a$	$15,67 \pm 0,19^c$	$3,89 \pm 0,11^d$
120	$40,34 \pm 0,02^b$	$24,06 \pm 0,04^b$	$17,72 \pm 0,16^c$	$6,29 \pm 0,03^c$
150	$40,87 \pm 0,02^b$	$21,83 \pm 0,01^e$	$19,47 \pm 0,02^b$	$7,61 \pm 0,01^b$
180	$43,69 \pm 0,25^a$	$23,61 \pm 0,30^c$	$23,98 \pm 0,41^a$	$12,88 \pm 0,17^a$

* Média \pm desvio padrão.

** Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

3.3.5. Análise sensorial

Na Tabela 6.11 são mostrados os resultados da análise sensorial da polpa de acerola congelada. Após 180 dias de estocagem, foi observada pelos provadores a homogeneidade do produto como uma importante característica de qualidade. No entanto, os mesmos detectaram um aumento de acidez e uma leve diminuição do sabor e da cor, em relação ao tempo zero.

Tabela 6.11. Análise sensorial da polpa de acerola congelada durante estocagem de 180 dias a -18°C .

Tempo de estocagem (dias)	Atributo		
	Cor	Aroma	Sabor
0	7,13±1,45 ^{a b c}	6,98±1,39 ^{b c}	7,14±1,37 ^{a b}
30	7,71±1,12 ^a	8,01±1,08 ^a	7,57±1,11 ^a
60	7,47±1,10 ^{a b}	7,56±1,22 ^{a b c}	7,28±1,31 ^{a b}
90	7,24±1,15 ^{a b c}	7,38±1,32 ^{a b c}	6,92±1,37 ^{a b}
120	6,87±1,43 ^{a b c}	7,24±1,25 ^{a b c}	6,85±1,65 ^{a b}
150	6,75±1,45 ^{b c}	7,17±1,06 ^{a b c}	6,35±1,65 ^b
180	6,48 ± 1,38 ^{c b}	6,81±1,52 ^{c b}	6,52±1,52 ^b

* Média±desvio padrão.

** Médias com expoentes diferentes em uma mesma coluna indicam diferença estatística ($p \leq 0,05$).

4. CONCLUSÕES

- O processo de extração da polpa de acerola no extrator de escovas proporcionou um rendimento significativamente ($p \leq 0,05$) mais elevado com menor alteração da cor.
- A polpa de acerola obtida do despulpamento no extrator de escovas apresentou ótima estabilidade física, físico-química e sensorial durante estocagem em temperatura de -18°C por 180 dias ao abrigo da luz, excetuando-se as variações observadas para a diferença total de cor (ΔE^*).
- A polpa de acerola congelada manteve sua concentração de vitamina C estável durante os 180 dias de estocagem a -18°C .
- A variação significativa ($p \leq 0,05$) no teor de antocianinas totais ao longo do estudo de estabilidade da polpa de acerola congelada não comprometeu a aceitabilidade em relação a cor.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI-COSTA, T. S.; ABREU, L. N.; ROSSETTI, A. G. Efeito do congelamento e estocagem da polpa de acerola sobre o teor de carotenóides e antocianinas. In: 4º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos. **Livro de Resumos**. Campinas, 2001. p.58.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 14. ed. Arlington: Sidney Williams (Ed.), 1984. 1141 p.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaithersburg: Patricia Cunniff (Ed.), 1997.

ALVES, R. E.; MENEZES, J. B.; SILVA, S. M. Colheita e pós-colheita da acerola. In: SÃO JOSÉ, A. R.; ALVES, R. E. (Ed.). **Acerola no Brasil: produção e mercado**. Vitória da Conquista: UESB, 1995, p. 77-89.

BENASSI, M. T. **Análise dos estudos de diferentes parâmetros na estabilidade de vitamina C em vegetais processados**. 1990. 159p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, 9, 1973.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. Diário Oficial da União. Brasília, 10 de janeiro de 2000. Anexo II.

CAVALCANTE, M. L. **Composição de carotenóides e valor de vitamina A em pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e acerola (*Malpighia glabra* L.)**. 1991. 86 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

CHEFTEL, J. C.; CHEFTEL, H.; BESANÇON, P. Métodos de conservación. In: CHEFTEL, J. C.; CHEFTEL, H.; BESANÇON, P. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1983. v. 2, cap. 7, p. 173-202.

FIGUEIRÊDO, R. M. F. **Caracterização físico-química do suco e pó de acerola (*Malpighia puniceifolia*, L.)**. 1998. 184p. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

FRANCIS, F. J. Food colorants anthocyanins. **CRC Critical Review in Food Science and Nutrition**, v. 28, n. 4, p. 273-314, 1989.

FU, B.; LABUZA, T. P. Shelf life of frozen foods. In: LABUZA, T.P.; FU, B. **Shelf Life Testing: Procedures and Prediction Methods**. Denver: CRC Press, 1997. Cap. 19. p. 377-415.

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 33, n. 1, p. 72-77, 1968.

HENSHELL, J. D. Ascorbic acid in fruit juices and beverages. In: COUNSELL, J. N.; HORNIG, D. H. (Ed.) **Vitamin C (ascorbic acid)**. London: Applied Science Publishers, 1981. 383p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS (São Paulo, SP). **Soluções fruta a fruta: acerola**. São Paulo, 1995. 59p.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, p. 207-220, 2000.

MAZZA, G.; BROUILLARD, R. Recent developments in the stabilization of anthocyanins in food products. **Food Chemistry**, Oxford, v. 25, p. 207-225, 1987.

NAGY, S. Vitamin C content of citrus fruit and their products: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 28, n. 1, p. 8-18, 1980.

NAKASONE, H. Y.; MIYASHITA, R. K.; YAMANE, G. M. Factors affecting ascorbic acid content of the acerola (*Malpighia glabra* L.). **American Society for Horticultural Science. Proceedings**, Alexandria, v. 49, p. 161-166, 1966.

OLIVEIRA, M. E. B.; BORGES, M. F.; NASSU, R. T.; RODRIGUES, C. L. J.; ALMEIDA, G. B. de. Polpa de acerola: avaliação química, físico-química, microbiológica e sensorial durante o armazenamento. In: 4º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos. **Livro de Resumos**. Campinas, 2001. p. 274.

PAIVA, J. R., CORDEIRO, E. R., ALVES, R. E., ALMEIDA, A. S.; PINTO, S. A. Seleção e clonagem de plantas de acerola. In: 14º Encontro de Genética do Nordeste. **Anais**. Recife: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. p. 53.

REED, B. J.; HENDRIX JR., C. M.; HENDRIX, D. L. **Quality control manual for citrus processing plants**. Florida: Intercit, 1986. v.1.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Press, 1999. 64p.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ/UPS, 1974, 56p.

SILVA, M. de F. V. da. **Efeito dos diferentes tratamentos e embalagens nas características da polpa de acerola e na determinação dos teores de ácido ascórbico e das antocianinas durante o armazenamento**. 1999. 224p. Tese de Doutorado (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

STATSOFT, INC. (1995). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104, (918) 583-4149, fax: (918) 583-4376.

STONE, H. S.; SIDEL, J. L. Affective testing. In: STONE, H. S.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**, Florida: Academic Press, Cap. 7, 1985. p. 227-252.

TANNENBAUM, S. R. Vitaminas y minerales. In: FENNEMA, O. (Ed) **Introducción a la Ciencia de los Alimentos**. Madrid: Reverté S.A., 1976, p. 404–417.

VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D. F. (Ed). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 3 ed. Washington: APHA, 1992, 1087p.

CAPÍTULO 7

ESTUDO DE FORMULAÇÃO E PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA DE NÉCTAR MISTO DE ACEROLA E PITANGA

RESUMO

Atualmente, é comum no mercado de alimentos encontrar produtos conhecidos como *blends*. Nada mais são do que misturas, neste caso de sucos ou polpas, que visam melhorar as características sensoriais dos componentes isolados e/ou proporcionar algum ganho nutricional. Neste trabalho foi proposta a utilização da metodologia de superfície de resposta para determinar a formulação de um néctar misto constituído por duas frutas, a acerola e a pitanga. O néctar misto estudado foi obtido pela mistura das polpas de acerola e pitanga, água e sacarose. As variáveis do planejamento experimental foram: proporção acerola/pitanga e teor de sacarose. De acordo com a otimização das respostas do planejamento experimental, aparência e aceitação global, verificou-se a maior aceitabilidade para as formulações com maiores proporções de polpa de pitanga (26,4% a 32,9%). No processo de pasteurização do néctar misto determinou-se que a faixa de tempo entre 39s a 60s em temperaturas que variam de 83°C a 85°C, são obtidos os néctares mistos pasteurizados de acerola e pitanga de maior aceitabilidade sensorial.

Palavras-chave: acerola, pitanga, *blend*, formulação, sensorial

FORMULATION AND HEAT PASTEURISATION OF A MIXED WEST INDIAN CHERRY AND PITANGA NECTAR

SUMMARY

Currently the presence of products known as blends on the market has become commonplace. These are merely mixtures, in this case of juices and pulps, which aim at improving the sensory characteristics of the isolated components and/or providing some nutritional gain. Response surface methodology was used in this study to determine the formulation of a mixed nectar made from two fruits, West Indian cherry and pitanga. The variables of the experimental design were: proportion of West Indian cherry/pitanga pulps and sucrose content. By optimising the responses of the experimental plan, appearance and overall acceptance, the greatest acceptance was found for the formulations with greater proportions of pitanga pulp (26.4% to 32.9%). With respect to heat pasteurisation of the mixed nectar, it was shown that temperatures between 83 and 85°C for 39 to 60s provided pasteurised mixed nectars of West Indian cherry and pitanga with the greatest sensory acceptance.

Key words: West Indian cherry, pitanga, blend, formulation, sensory.

1. INTRODUÇÃO

O interesse crescente dos consumidores por produtos saudáveis é um dos fatores que tem contribuído para o aumento do consumo de sucos e bebidas à base de frutas, destacando-se os néctares. As mudanças no estilo de vida das últimas décadas, principalmente nos grandes centros urbanos, gerando a necessidade de produtos práticos, prontos para o consumo, também estão associadas a esse crescimento. E não se pode deixar de citar o forte apelo comercial, resultado do crescente investimento em publicidade pelas empresas ligadas a esse segmento (TILLOTSON, 1994).

Néctares são bebidas preparadas à base de sucos puros e xaropes, ou então, a partir de *blends* e xaropes açucarados. Neste último caso a utilização de *blends*, que são produtos constituídos por misturas de sucos, tem como objetivo melhorar as características sensoriais dos componentes isolados (QUINTEROS, 1995). Segundo Uchôa Júnior (2001), existe dentro do setor de sucos de frutas uma importância crescente na produção de produtos diferenciados, e o *blend* é um dos recursos disponíveis no preparo de bebidas diferenciadas.

Na indústria alimentícia, o suco de acerola tem sido utilizado para enriquecer os sucos e néctares de outras frutas com menor teor de ácido ascórbico, alimentos infantis, saladas de frutas, etc. É também empregado na indústria de conservas atuando como antioxidante natural e na preservação de frutos enlatados, secos ou congelados, e de iogurtes (FIGUERÊDO, 1998).

Dados da ACNielsen mostram que o mercado de sucos prontos para beber, estimado em 300 milhões de litros/ano, teve crescimento médio de 40% ao ano nos últimos anos. Em 1998, o consumo anual de sucos prontos era da ordem de 0,2 litro por pessoa, atingindo em 2004 a média de 1,1 litro e apresentando potencial para que o consumo eleve-se para 5 litros (REVISTA DE DISTRIBUIÇÃO, 2004).

As frutas tropicais, em geral, têm evoluído bastante na preferência do consumidor, principalmente no que se refere às características de sabor e aroma. O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de inúmeras espécies de frutas, e apresenta uma grande quantidade de espécies nativas ainda não aproveitadas em todo seu potencial. Dentre estas podemos citar a pitanga.

Para garantir a qualidade microbiológica, sucos e néctares industrializados são comumente submetidos a processos de pasteurização com temperaturas na faixa de 90°C, o que pode causar significativas perdas vitamínicas e alterações sensoriais.

O efeito da temperatura contribui para a degradação da cor e para o escurecimento não enzimático (Reação de Maillard) (LESZKOWIAT et al., 1990).

De acordo com Silva (1999), a polpa de acerola sofreu significativa mudança de cor, de vermelho para amarelo-alaranjado, quando submetida à pasteurização térmica (95°C/25s).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a formulação e o tratamento térmico de um néctar constituído das polpas de acerola e pitanga. Estes frutos se destacam por suas características nutricionais e potencialidades comerciais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL

2.1.1. Matéria-Prima

Frutos de acerola *in natura* de coloração avermelhada provenientes de Indaiatuba - São Paulo e polpa congelada natural de pitanga da marca RICAELI.

2.1.2. Equipamentos

- Despolpador horizontal com pás de aço inoxidável da marca STERLING, dotado de peneira com diâmetro equivalente a 0,8mm de abertura da malha;
- Congelador horizontal de placas FRIGOSTRELLA DO BRASIL, mod. P.M-5;
- Unidade de pasteurização térmica tubular de bancada constituída por três seções: aquecimento, retenção e resfriamento construída no Laboratório de Frutas segundo instruções do Dr. Alfredo Vitali (Pesquisador Científico do ITAL);
- Fluxo laminar da marca VECO DO BRASIL modelo CFLH-12;
- Autoclave horizontal marca ORTOSINTESE, mod. AC127.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Caracterização física e físico-química das polpas de acerola e pitanga

- pH: segundo método nº981.12 da AOAC (1997);
- Acidez Total Titulável: segundo método nº942.15 da AOAC (1997);
- Sólidos Solúveis (como °Brix): baseado na leitura direta dos graus Brix da amostra a 20°C em refratômetro digital da marca LEICA, mod. AR200;
- Ácido Ascórbico: método nº43.065 da AOAC (1984), modificado por Benassi (1990);
- Antocianinas Totais: segundo a metodologia descrita por Fuleki e Francis (1968);
- Carotenóides Totais: segundo método descrito por Rodriguez-Amaya (1999);

2.2.2. Formulação dos néctares mistos de acerola e pitanga

O estudo de formulação do néctar misto de acerola e pitanga foi realizado segundo um planejamento composto central (2^2), constituído por quatro ensaios lineares nos níveis -1 e $+1$, quatro ensaios axiais ($\alpha=1,414$) e três ensaios no ponto central, como pode ser observado na Tabela 7.1. Para todos os ensaios do planejamento foi mantida a proporção de 50% de água e 50% de polpa (acerola e pitanga). As variáveis independentes determinadas no planejamento foram proporção Acerola:Pitanga e o teor de Sacarose. Seus níveis são mostrados nas Tabelas 7.2 e 7.3. As variáveis dependentes avaliadas foram aparência e aceitação global, de acordo com Stone e Sidel (1985).

Tabela 7.1. Planejamento composto central (2^2).

Ensaio	X1	X2
1	-1.0	-1.0
2	1.0	-1.0
3	-1.0	1.0
4	1.0	1.0
5	-1.414	0.0
6	1.414	0.0
7	0.0	-1.414
8	0.0	1.414
9(C)	0.0	0.0
10(C)	0.0	0.0
11(C)	0.0	0.0

X1 = Acerola:Pitanga

X2 = % sacarose

Tabela 7.2. Variáveis independentes e seus diferentes níveis do planejamento experimental de formulação de néctares mistos de acerola e pitanga.

Fator	Níveis				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Acerola:Pitanga	0,28	0,43	1	2,33	3,59
% Sacarose	5	6,75	11	15,25	17

Tabela 7.3. Porcentagens de polpa de acerola e pitanga empregadas para formulação dos néctares mistos de acordo com o planejamento experimental.

Polpa	Porcentagem				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Acerola	10,9	15	25	35	39,1
Pitanga	39,1	35	25	15	10,9
Níveis	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
%Acerola:Pitanga	0,28	0,43	1	2,33	3,59

Utilizando-se o programa *Statistica*[®] versão 5.0 (STATSOFT INC., 1995), os resultados foram avaliados através de:

- Verificação dos efeitos significativos ($p \leq 0,05$ ou valores próximos);
- Análise de Variância (ANOVA);
- Metodologia de Superfície de Resposta.

2.2.3. Análise sensorial

O teste de aceitação sensorial foi composto por uma equipe de 40 provadores, consumidores de sucos e néctares de frutas tropicais, não treinados, recrutados dentre alunos, funcionários e professores da Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP). Os néctares mistos foram avaliados aplicando-se os testes de escala hedônica estruturada, para os atributos aparência e aceitação global (STONE; SIDEL, 1985). Também foi avaliada a intensidade de doçura, de acordo com a escala do ideal, e a atitude de compra (5=certamente compraria, 3=tenho dúvidas se compraria ou não, 1=certamente não compraria). As amostras foram apresentadas em cabine individual sob temperatura de refrigeração (10°C), em copos plásticos descartáveis de 50ml codificados com algarismos de três dígitos.

2.2.4. Pasteurização térmica do néctar misto

O estudo de pasteurização térmica do néctar misto, que teve as proporções das polpas de acerola e pitanga e o teor de sacarose determinados no planejamento anterior, foi avaliado de acordo com um planejamento composto central (2^2) ($\alpha=\sqrt{2}$) (Tabela 7.1). As variáveis independentes do planejamento foram tempo e temperatura, e seus níveis são mostrados na Tabela 7.4. As variáveis dependentes do planejamento foram: teor de ácido ascórbico, aceitabilidade sensorial, contagem de bolores e leveduras, segundo Vanderzant e Splittstoesser (1992), e atividade de peroxidase, segundo Khan e Robinson (1994) e Holschuh (2000). Os néctares foram envasados em garrafas de vidro tampa e rosca metálica com capacidade de 300ml, previamente esterilizadas em autoclave horizontal, em fluxo laminar horizontal.

Tabela 7.4. Variáveis independentes e seus diferentes níveis no processo de pasteurização térmica.

Fator	Níveis				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Tempo (s)	39	45	60	75	81
Temperatura	83	85	90	95	97

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DAS POLPAS DE ACEROLA E PITANGA

Os resultados referentes à caracterização físico-química das polpas de acerola e pitanga são mostrados na Tabela 7.5.

Tabela 7.5. Caracterização física e físico-química das polpas de acerola e pitanga.

Parâmetro	Acerola*	Pitanga*
pH	3,56±0,01	3,11±0,07
Acidez Total Titulável (g de ácido cítrico/100g)	1,02±0,01	1,27±0,02
Sólidos Solúveis (como °Brix)	7,2±0,00	5,6±0,00
Ácido Ascórbico (mg/100g)	1167,59±20,30	q.n.d ¹
Antocianinas Totais (mg/100g)	5,19±0,20	q.n.d ¹
Carotenóides Totais (µg/g)	17,80±0,55 ²	74,58±0,43 ³

* Média ± desvio padrão (base úmida).

¹ q.n.d.: quantidade não detectável pela metodologia empregada.

² µg referente ao β-caroteno/g ($A_{1\text{cm}}^{1\%}$ β-caroteno em éter de petróleo = 2592).

³ µg referente ao licopeno/g ($A_{1\text{cm}}^{1\%}$ licopeno em éter de petróleo = 3450).

3.2. FORMULAÇÃO DOS NÉCTARES MISTOS DE ACEROLA E PITANGA

3.2.1. Análise sensorial

Na Tabela 7.6 são apresentados os valores médios de aceitação sensorial para os atributos aparência global e aceitação global utilizando diferentes formulações dos néctares mistos de acerola e pitanga, de acordo com um planejamento composto central 2².

Tabela 7.6. Planejamento experimental da formulação de néctar misto com as respostas.

Ensaio	Planejamento codificado		Planejamento real		Respostas	
	X1	X2	X1	X2	Aparência Global	Aceitação global
1	-1	-1	0,43	6,75	8,00	5,18
2	-1	1	0,43	15,25	8,03	6,61
3	1	-1	2,33	6,75	6,03	5,29
4	1	1	2,33	15,25	6,13	6,68
5	-1,414	0	0,28	11	7,68	5,89
6	1,414	0	3,59	11	5,58	6,50
7	0	-1,414	1	5	7,82	4,84
8	0	1,414	1	17	7,18	6,58
9(C)	0	0	1	11	7,68	6,87
10(C)	0	0	1	11	7,71	7,29
11(C)	0	0	1	11	7,39	6,79

* Média±Desvio Padrão
X1 = Acerola:Pitanga
X2 = % Sacarose

3.2.1.1 Aparência global

O resultado da análise estatística aplicada aos dados experimentais de aparência global é mostrado na Tabelas 7.7 e 7.8, de acordo com o erro puro e a soma quadrática residual, no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 7.7. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o atributo aparência global do néctar misto.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Acerola:Pitanga (L)	-1,7114	0,1239	-13,8131	0,0052
Acerola:Pitanga (Q)	-0,9748	0,1475	-6,6101	0,0221
Sacarose (L)	-0,1904	0,1239	-1,5368	0,2642
Sacarose (Q)	-0,1064	0,1475	-0,7212	0,5457
Efeito de interação				
Acerola:Pitanga (L) x Sacarose (L)	0,0395	0,1752	0,2253	0,8427

(L): linear (Q): quadrático

Tabela 7.8. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o atributo aparência global do néctar misto.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Acerola:Pitanga (L)	-1,7114	0,1711	-10,0031	0,0002
Acerola:Pitanga (Q)	-0,9748	0,2036	-4,7869	0,0049
Sacarose (L)	-0,1904	0,1711	-1,1129	0,3164
Sacarose (Q)	-0,1064	0,2036	-0,5223	0,6238
Efeito de interação				
Acerola:Pitanga (L) x Sacarose (L)	0,0395	0,2420	0,1631	0,8768

(L): linear (Q): quadrático

Como pode ser observado nas Tabelas 7.7 e 7.8, os fatores significativos foram os mesmos (Acerola:Pitanga linear e quadrático) tanto para o erro puro como para a soma quadrática residual. Observou-se que ambos os parâmetros significativos, apresentaram efeitos negativos para a aceitação da aparência, indicando que a elevação destes fatores resulta no decréscimo da aceitação da aparência global do néctar misto e a existência de uma região de máximo com a concavidade voltada para baixo, conforme a superfície de resposta (Figura 7.1).

Após a eliminação dos parâmetros com efeitos não significativos, através de análise de variância (ANOVA), verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$), utilizando o teste F.

Tabela 7.9. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o atributo aparência global do néctar misto.

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado} ($p \leq 0,05$)	R ²
Regressão	7,2337	2	3,6169	75,60	4,46	0,9495
Resíduos	0,3827	8	0,0478			
F.Ajuste	0,3213	6	0,0536	1,74	19,33	
E.Puro	0,0614	2	0,0307			
Total	7,6165	10				

SQ: soma quadrática GL: graus de liberdade MQ: média quadrática

Neto; Scarminio e Bruns (1996) sugeriram que para uma regressão ser significativa não apenas estatisticamente, mas ser útil para fins preditivos, o valor de

$F_{\text{calculado}}$ deve ser no mínimo quatro a cinco vezes maior que o F_{tabelado} , no entanto, o F da falta de ajuste em relação ao erro puro deve apresentar o menor valor possível e sempre menor que o F da falta de ajuste tabelado, pois um valor alto e maior que o F_{tabelado} para a falta de ajuste indica que os dados não estão bem ajustados ao modelo obtido.

Como se pode observar na Tabela 7.9, o $F_{\text{calculado}}$ da regressão foi 16,95 vezes maior que o F_{tabelado} (4,46), ao mesmo tempo o valor $F_{\text{calculado}}$ da falta de ajuste foi bem menor que o F_{tabelado} (19,33). Isto indica que o modelo é preditivo e os dados de aparência global ajustaram-se bem ao modelo obtido. Além disso, obviamente, a aceitação do atributo aparência global está relacionada com a proporção de acerola e pitanga no néctar misto, em especial, pelo aumento de polpa de pitanga na formulação.

O modelo proposto para representar a aceitação do atributo aparência global é o seguinte:

$$\text{Aparência} = 7,546 - 0,856 \times \text{Ac} : \text{Pit} - 0,472 \times \text{Ac} : \text{Pit}^2$$

A Figura 7.1 mostra a superfícies de resposta e as curvas de nível geradas através do modelo proposto. Estas superfícies de resposta confirmam a análise dos efeitos e permitem visualizar a variação da resposta para cada variável independente.

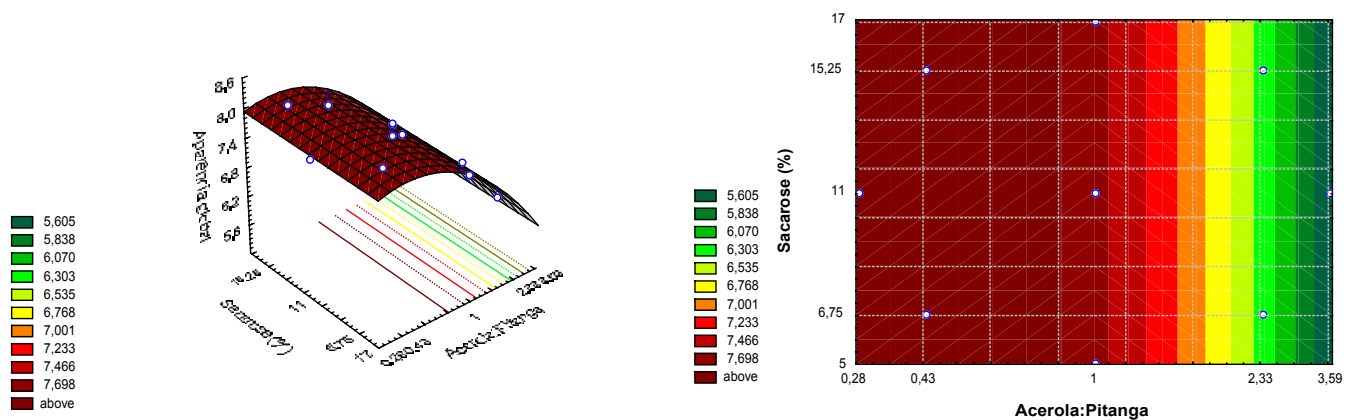


Figura 7.1. (a) Superfície de resposta e (b) curvas de nível para o atributo aparência global do néctar misto de acerola e pitanga.

O maior teor de polpa de pitanga (proporção 15%acerola: 35%pitanga) ocasionou uma melhor aceitação do néctar misto. Isso mostra a maior aceitação dos néctares de coloração mais intensa no vermelho, como a pitanga.

3.2.1.2. Aceitação global

O resultado da análise estatística aplicada aos dados experimentais de aceitação global é mostrado na Tabelas 7.10 e 7.11, de acordo com o erro puro e soma quadrática residual, no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 7.10. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o atributo aceitação global do néctar misto.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Acerola:Pitanga (L)	0,2600	0,1901	1,3682	0,3047
Acerola:Pitanga (Q)	-0,7917	0,2262	-3,4994	0,0728
Sacarose (L)	1,3180	0,1901	6,9344	0,0202
Sacarose (Q)	-1,2785	0,2262	-5,6514	0,0299
Efeito de interação				
Acerola:Pitanga (L) x Sacarose (L)	-0,0132	0,2688	-0,0490	0,9654

(L): linear (Q): quadrático

Tabela 7.11. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para o atributo aceitação global do néctar misto.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Acerola:Pitanga (L)	0,2600	0,1475	1,7636	0,1381
Acerola:Pitanga (Q)	-0,7917	0,1755	-4,5109	0,0063
Sacarose (L)	1,3180	0,1475	8,9387	0,0003
Sacarose (Q)	-1,2785	0,1755	-7,2849	0,0008
Efeito de interação				
Acerola:Pitanga (L) x Sacarose (L)	-0,0132	0,2085	-0,0631	0,9521

(L): linear (Q): quadrático

Como podem ser observados nas Tabelas 7.10 e 7.11, os fatores significativos não foram os mesmos para o erro puro e para a soma quadrática residual, no entanto, é normal considerar efeitos significativos que apresentem valores de p pouco acima de 0,05. Desta forma, aceitou-se o fator Acerola:Pitanga quadrático como significativo para o modelo.

Após a eliminação dos parâmetros com efeitos não significativos, através de análise de variância (ANOVA), verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$), utilizando o teste F.

Tabela 7.12. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o atributo aceitação global do néctar misto.

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado} ($p \leq 0,05$)	R ²
Regressão	6,0490	3	2,0163	40,00	4,35	0,9449
Resíduos	0,3528	7	0,0504			
F.Ajuste	0,2083	5	0,0417	0,58	19,30	
E.Puro	0,1445	2	0,0723			
Total	6,4018	10				

SQ: soma quadrática GL: graus de liberdade MQ: média quadrática

Como se pode observar na Tabela 7.12, o F_{calculado} da regressão foi 9,20 vezes maior que o F_{tabelado} (4,35), ao mesmo tempo o valor F_{calculado} da falta de ajuste foi bem menor que o F_{tabelado} (19,30). Isto indica que o modelo é válido para fins preditivos e os dados de aparência global ajustaram-se bem ao modelo obtido. A resposta aceitação global aumentou, considerando a faixa estudada, com a elevação da Sacarose (efeito linear positivo), já os efeitos negativos dos fatores Acerola:Pitanga (Q) e Sacarose (Q) indicam a existência de uma região de máximo, sugerindo que a superfície de resposta apresenta concavidade voltada para baixo (Figura 7.2).

O modelo proposto para representar a aceitação global do néctar misto é o seguinte:

$$Aceitação = 6,982 - 0,396 \times Ac : Pit^2 + 0,659 \times Sacarose - 0,639 \times Sacarose^2$$

A Figura 7.2 mostra a superfícies de resposta e as curvas de nível geradas através do modelo proposto.

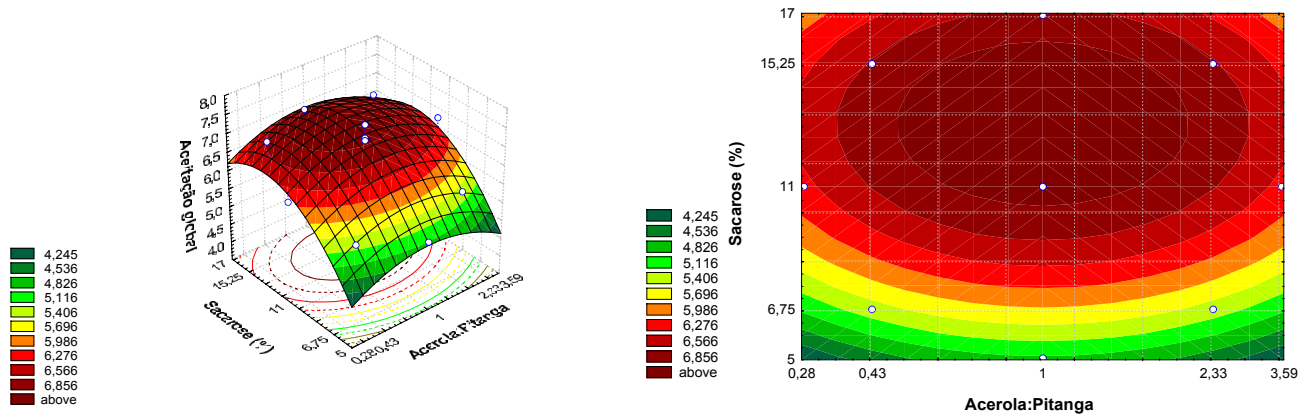


Figura 7.2. (a) Superfície de resposta e (b) curvas de nível para o atributo aceitação global do néctar misto de acerola e pitanga.

3.3. OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FORMULAÇÃO DO NÉCTAR MISTO

Para a otimização do processo de formulação de néctar misto foi utilizado método de sobreposição de gráficos, para as curvas de nível referentes aos atributos aparência e aceitação global. Derringer e Suich (1980) relatam o uso desse método em conjunto com a metodologia da superfície de resposta, na otimização de sistemas com multirrespostas.

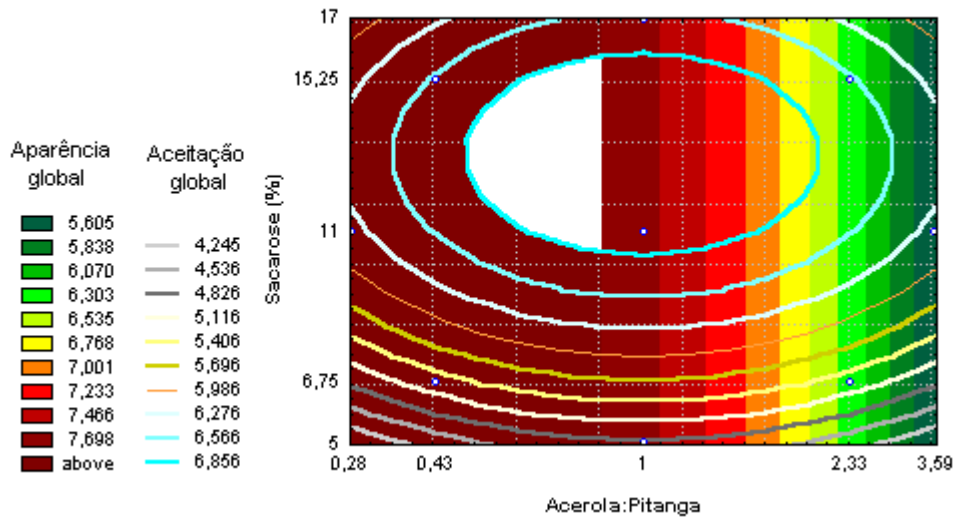


Figura 7.3. Sobreposição das curvas de nível dos atributos aparência e aceitação global do néctar misto de acerola e pitanga.

Na Figura 7.3, a área do gráfico representada pela aceitação global do néctar misto está sobreposta ao gráfico de aparência global na forma de linhas. Para atingir o objetivo de otimizar as duas respostas deve-se considerar simultaneamente a região onde haja os maiores valores para os atributos avaliados sensorialmente. Essa região, mostrada na Figura 7.3 como a área em branco, delimita a proporção Acerola:Pitanga que vai de 17,1:32,9 a 23,5:26,4 e o teor de sacarose em uma ampla faixa que vai de 10,6% a 16,1%. Conclui-se que os néctares mistos formulados com uma proporção maior de pitanga foram os mais bem aceitos pelos provadores, e que o teor de sacarose adicionado ao néctar apresenta uma larga faixa para os mais elevados valores de aceitabilidade sensorial.

3.3. PASTEURIZAÇÃO TÉRMICA DO NÉCTAR MISTO DE ACEROLA E PITANGA

Para o estudo de pasteurização térmica do néctar misto foi utilizada a formulação de néctar misto constituída por 50% de polpa (28%pitanga:22%acerola), 50 % de água e 11% de sacarose.

Os resultados da contagem de bolores e leveduras, atividade de peroxidase e teor de ácido ascórbico dos néctares mistos de acerola e pitanga são mostrados na Tabela 7.13, de acordo com a metodologia de avaliação do planejamento composto central 2², não houve efeitos significativos para essas respostas.

Tabela 7.13. Planejamento experimental da pasteurização térmica do néctar misto com as respostas.

Ensaio	Planejamento codificado		Planejamento real		Respostas		
	X1	X2	X1	X2	Bolores e leveduras	Atividade peroxidase (Unidades/g)	Ácido ascórbico (mg/100g)*
1	-1	-1	45	85	<10(est.)	n.d.	233,86 ± 0,05
2	-1	1	45	95	<10(est.)	n.d.	253,12 ± 13,06
3	1	-1	75	85	<10(est.)	n.d.	233,91 ± 5,26
4	1	1	75	95	<10(est.)	n.d.	234,92 ± 2,16
5	-1,414	0	39	90	<10(est.)	n.d.	251,18 ± 15,59
6	1,414	0	81	90	<10(est.)	n.d.	240,24 ± 1,22
7	0	-1,414	60	83	<10(est.)	n.d.	262,89 ± 9,74
8	0	1,414	60	97	<10(est.)	n.d.	138,38 ± 2,59
9(C)	0	0	60	90	<10(est.)	n.d.	221,85 ± 20,23
10(C)	0	0	60	90	<10(est.)	n.d.	239,5 ± 4,81
11(C)	0	0	60	90	<10(est.)	n.d.	237,37 ± 20,02

* Média ± Desvio Padrão

X1 = tempo (s)

X2 = temperatura (°C)

Na Tabela 7.14 são mostrados os valores médios das respostas de aceitação global, segundo o planejamento experimental definido para o processo de pasteurização.

Tabela 7.14. Planejamento experimental da pasteurização térmica do néctar misto com os valores médios da aceitação global.

Ensaio	Planejamento codificado		Planejamento real		Resposta
	X1	X2	X1	X2	Aceitação global
1	-1	-1	45	85	6,91
2	-1	1	45	95	6,28
3	1	-1	75	85	6,84
4	1	1	75	95	6,66
5	-1,414	0	39	90	6,47
6	1,414	0	81	90	6,81
7	0	-1,414	60	83	6,72
8	0	1,414	60	97	6,41
9(C)	0	0	60	90	6,59
10(C)	0	0	60	90	6,53
11(C)	0	0	60	90	6,58

X1 = tempo (s)
X2 = temperatura (°C)

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de aceitação global são mostrados na Tabelas 7.15 e 7.16, de acordo com o erro puro e a soma quadrática residual, no nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 7.15. Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a aceitação global do néctar misto pasteurizado.

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Tempo(L)	0,1997	0,0233	8,5670	0,0134
Tempo(Q)	0,1072	0,0277	3,8657	0,0609
Temperatura(L)	-0,3136	0,0233	-13,4564	0,0055
Temperatura(Q)	0,0291	0,0277	1,0493	0,4041
Efeito de interação				
Tempo(L)xTemperatura(L)	0,2188	0,0330	6,6370	0,0220

(L): linear (Q): quadrático

Tabela 7.16. Efeito estimado, soma quadrática residual, coeficiente t e significância estatística de cada fator para a aceitação global do néctar misto pasteurizado.

Fatores	Efeito estimado	Soma quadrática residual	t(5)	Significância estatística (p)
Efeitos principais				
Tempo(L)	0,1997	0,0574	3,4760	0,0177
Tempo(Q)	0,1072	0,0684	1,5685	0,1776
Temperatura(L)	-0,3136	0,0574	-5,4598	0,0028
Temperatura(Q)	0,0291	0,0684	0,4258	0,6880
Efeito de interação				
Tempo(L)xTemperatura(L)	0,2188	0,0812	2,6929	0,0431

(L): linear (Q): quadrático

Como pode ser observado nas Tabelas 7.15 e 7.16, os efeitos significativos foram os mesmos considerando o erro puro e a soma quadrática residual, sendo esses o tempo(L) temperatura (L) e a interação tempo(L)xtemperatura(L). Observa-se que o fator temperatura(L) apresentou efeito negativo para a aceitação global, significando que a elevação da temperatura implicou na redução da aceitação global do néctar misto.

Após a eliminação dos parâmetros com efeitos não significativos, através de análise de variância (ANOVA) (Tabela 7.17), verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$), utilizando o teste F.

Tabela 7.17. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a aceitação global do néctar misto pasteurizado.

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado} ($p \leq 0,05$)	R ²
Regressão	0,3243	3	0,1081	15,37	4,35	0,8682
Resíduos	0,0492	7	0,0070			
F.Ajuste	0,0471	5	0,0094	8,66	19,30	
E.Puro	0,0022	2	0,0011			
Total	0,3735	10				

SQ: soma quadrática GL: graus de liberdade MQ: média quadrática

O modelo proposto para representar a aceitação global é o seguinte:

$$AG = 6,618 + 0,200 \times Tempo - 0,314 \times Temperatura + 0,219 \times Tempo \times Temperatura$$

onde:

AG = aceitação global

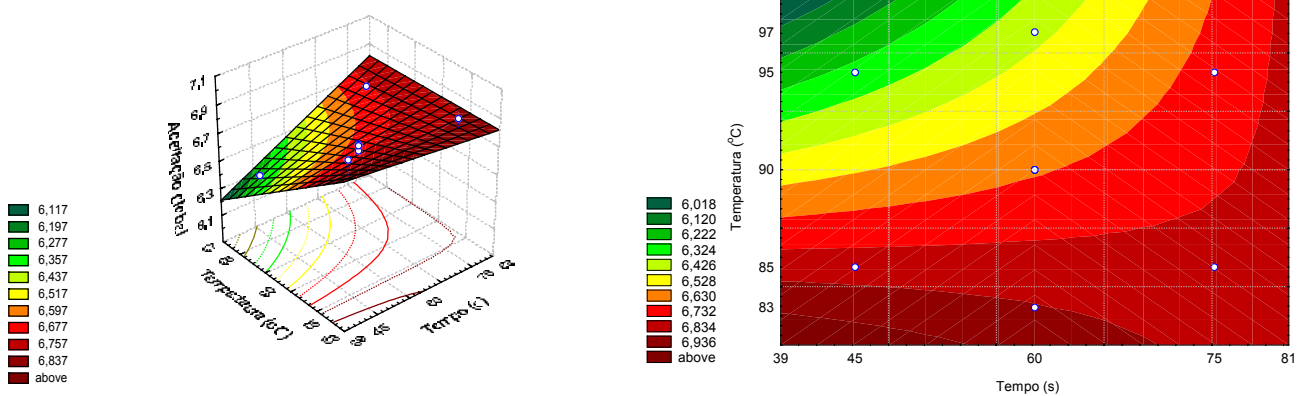


Figura 7.4. Superfície de resposta e curva de nível para a aceitação global do néctar misto pasteurizado.

Observa-se que para temperaturas até 85°C na faixa de tempo que vai de 39s até 60s, foram obtidos os maiores valores para aceitação global do néctar misto de acerola e pitanga.

4. CONCLUSÕES

- Através da otimização da formulação do néctar misto foi verificada a maior aceitabilidade para as formulações com proporções de polpa de pitanga entre 26,4% e 32,9% e de polpa de acerola entre 17,1% e 23,5%.
- De acordo com otimização da formulação do néctar misto verificou-se uma ampla faixa aceitação dos néctares mistos (10,6% a 16,1%) em função da teor de sacarose.
- As variáveis independentes (tempo e temperatura) do processo de pasteurização foram significativas somente para a aceitação global, onde foi possível estabelecer as faixas de tempo (39s a 60s) e temperatura (83°C a 85°C) mais adequadas para o processamento térmico do néctar misto de acerola e pitanga.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 14. ed. Arlington: Sidney Williams (Ed.), 1984. 1141 p.

AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaithersburg: Patricia Cunniff (Ed.), 1997.

BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2 ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 2002. Cap. 5, p. 201-249.

BENASSI, M. T. **Análise dos estudos de diferentes parâmetros na estabilidade de vitamina C em vegetais processados**. 1990. 159p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, 9, 1973.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214-219, 1980.

FIGUERÊDO, R. M. F. **Caracterização físico-química do suco e pó de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.)**. 1998. 184p. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 33, n. 1, p. 72-77, 1968.

HOLSCHUH, H. J. **Isolamento, purificação e caracterização bioquímica da peroxidase de carambola (*Averrhoa carambola* L.)**. 2000. 159p. Tese (Doutor em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

KHAN, A. A.; ROBINSON, D. S. Hydrogen donor specificity of mango isoperoxidases. **Food Chemistry**, Oxford, v. 49, p. 407-410, 1994.

LESZKOWIAT, M. J.; BARICHELLO, V.; YADA, R. Y.; COFFIN, R. H.; LOUGHEED, E.C.; STANLEY, D. W. Contribution of sucrose to nonenzymatic browning in potato-chips. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 1, p. 281- 285, 1990.

QUINTEROS, E. T. T. **Processamento e estabilidade de néctares de acerola-cenoura**. 1995. 96p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

REVISTA DE DISTRIBUIÇÃO. **Lucro líquido e certo**. Disponível em:<http://www.revistadistribuicao.com.br/content.asp?page=93&id_edicao=20> Acesso em: 28 dez. 2004

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Press, 1999. 64p.

SILVA, M. F.V. **Efeito dos diferentes tratamentos e embalagens nas características da polpa de acerola e na determinação dos teores de ácido ascórbico e das antocianinas durante o armazenamento**. 1999. 224p. Tese (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

STATSOFT, INC. (1995). **STATISTICA for Windows** [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104, (918) 583-4149, fax: (918) 583-4376.

STONE, H. S.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. Florida: Academic Press, 1985. Cap. 7: Affective testing, p. 227-252.

TILLOTSON, J. E. Marketing of “supernatural” fruit juice drinks. **Fruit Processing**, Schonborn, v. 9, p. 271-275, 1994.

UCHÔA JÚNIOR, P. P. M. **Produção de um “blend” de suco de abacaxi (*Ananas Comosus*) clarificado e carbonatado.** 2001. 96p. Tese de Doutorado (Doutor em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D. F. (Ed). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods.** 3 ed. Washington: APHA, 1992, 1087p.

CONCLUSÃO GERAL

Com a proposta de ampliar o conhecimento científico sobre a pitanga e, conseqüentemente propiciar maior embasamento tecnológico para a utilização desta fruta, foi possível determinar parâmetros de qualidade e de processo inerentes às etapas de obtenção e pasteurização térmica de polpa.

O estudo da cinética das reações da polpa de pitanga congelada forneceu dados relevantes sobre sua estabilidade, especialmente dos aspectos de cor e manutenção da turvação. De acordo com este estudo foi verificada a necessidade do tratamento térmico para inativação da pectinametilesterase presente nesta fruta.

A otimização do processo de pasteurização foi obtida a partir das respostas de maior importância do planejamento experimental: variação da coordenada de cor a^* e decréscimo da atividade de pectinametilesterase. A faixa de tempo e temperatura do processamento térmico otimizado situou-se entre 59 e 68s e cerca de 90°C. O modelo de Herschel-Bulkley, aplicado para fluidos pseudoplásticos, foi considerado o mais adequado para representar o comportamento reológico da polpa de pitanga nas temperaturas estudadas. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente pôde ser descrito pela equação análoga à de Arrhenius, observando-se a diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura.

No estudo de estabilidade da polpa de acerola congelada, a cor instrumental foi o parâmetro de maior instabilidade durante o período de seis meses de estocagem, devido à degradação dos pigmentos presentes, especialmente as antocianinas totais que variaram significativamente ($p \leq 0,05$) cerca de 16,23%. De acordo com a análise sensorial essas modificações na cor não comprometeram significativamente a aceitabilidade da polpa de acerola.

No estudo de formulação do néctar misto, verificou-se a maior aceitabilidade para as formulações com maiores proporções de polpa de pitanga (26,4% a 32,9%). No processo de pasteurização do néctar misto determinou-se que a faixa de tempo entre 39s a 60s em temperaturas que variam de 83°C a 85°C, são obtidos os néctares mistos pasteurizados de acerola e pitanga de maior aceitabilidade sensorial.