

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

**DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E DE
TRANSPORTE DE SUCO DE ACEROLA**

ROBERTA PIMENTEL DA SILVA OLIVEIRA

Engenheira Química com Habilitação em Engenharia de Alimentos

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por ROBERTA PIMENTEL DA SILVA OLIVEIRA aprovada pela Comissão Julgadora em 17 de dezembro de 1997.

Prof.^a Dr.^a FLORENCIA CECILIA MENEGALLI

Orientadora

Campinas, 17 de dezembro de 1997.

Profa.Dra. FLORENCIA C. MENEGALLI
Presidente da Banca

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Alimentos

CAMPINAS - SP

1997

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

980.23003

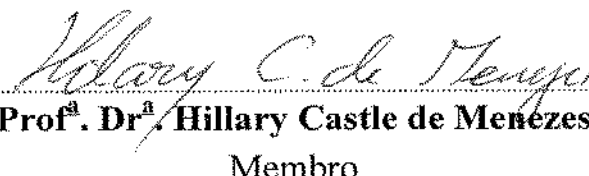
BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dr.ª Florencia Cecilia Menegalli
Orientadora



Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida Silva
Membro



Prof.ª Dr.ª Hillary Castle de Menezes
Membro

Prof.ª Dr.ª Fernanda E. X. Murr
Membro

*À Everson Roberto Pinto de Oliveira (Beto), meu marido
À Wantuil Pimenta da Silva e Terezinha Reis Silva, meus pais
com amor e carinho.*

UNIDADE	30
N.º CHAMADA:	17000000
V.	Es.
TOMBO BC/	32108
PROC.	395/98
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 4,00
DATA	31/01/98
N.º CPD	

CM-00105127-8

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

OL4d

Oliveira, Roberta Pimentel da Silva
Determinação de propriedades físicas e de
transporte de suco de acerola / Roberta Pimentel
da Silva Oliveira. -- Campinas: SP [s.n.],
1997.

Orientador: Florencia Cecilia Menegalli
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Acerola. 2.Calor específico. 3.Difusividade
térmica. 4.Reologia. I.Menegalli, Florencia Cecilia.
Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de
Engenharia de Alimentos.

*Instruir-te-ei, e ensinar-te-ei o caminho
que deves seguir; guiar-te-ei com os meus olhos.*

Salmo 32:8

AGRADECIMENTOS

À Deus

Gostaria de expressar o meu muito obrigado a todas as pessoas pela cooperação e cordialidade.

À Prof^ª. Dr^ª. Florencia Cecilia Menegalli

Aos professores Satoshi Tobinaga, Hillary Castle de Menezes, Maria Aparecida Silva, Fernanda E.X. Murr, Lincoln de Camargo Neves Filho, Débora de Queiróz Tavares, Henrique Ortega, Adilma R.P. Scamparini e Míriam Dupas Hubinger.

À Companhia de Cítricos do Brasil S.A. (CCB), fazenda CAJUBA.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq).

Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

À José Ricardo Rezende Calça, José Arildo Maziviero e Maria Inês Broglio da empresa Rhodia - S.A. Centro de pesquisas - Paulínia-SP.

Às técnicas da Faculdade de Engenharia de Alimentos: Alessandra R. Silva (LEP-DEA), Angela Grandin (LMF-DEA), Karla F. Nery (LGC-DCA) e Yara F. Honório (LMA-DEPAN).

Aos funcionários da planta piloto, secretaria, diretoria, biblioteca e microcentro.

Aos meus irmãos Danilo Pimenta, Gilberto Reis Pimenta, Regiane Reis Silva e em especial ao Glauco Pimenta da Silva.

Às cunhadas Raquel, Sandra e Elizângela e sobrinhos: Juliano, Brenda e Geovana.

À minha grande amiga Irenice Mesquita e ao amigo Guilherme Vilela Miranda.

Aos amigos da FEA: Cassiano Zapatta, Márcio G. Oliveira, Alessandra Baroni, Rodrigo A. M. Chamorro, Rosiane L. Cunha, Valéria M. Acquarone, Zilda e Aroldo Arévalo.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS	x
NOMENCLATURA.....	xiii
RESUMO	xvi
SUMMARY.....	xvii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. A Acerola	2
2.1.1. Histórico	2
2.1.2. Botânica.....	3
2.1.3. Ácido Ascórbico.....	4
2.1.4. Processamento do Suco de Acerola.....	13
2.2. Parâmetros Físicos ligados à Transferência de Calor.....	17
2.2.1. Condutividade Térmica	17
2.2.2. Difusividade Térmica	19
2.2.3. Condutividade e Difusividade Térmica de Sucos e Frutas.....	21
2.2.4. Métodos de Medida para Condutividade e Difusividade térmica	23
2.2.5. Calor Específico	27
2.2.6. Métodos de Medida para Calor Específico	29
2.2.6.1. Método das Misturas	29
2.2.6.2. Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC)	31
2.3. Reologia.....	32
2.3.1. Modelos Reológicos	32
2.3.2. Reologia de Produtos Alimentícios.....	39
2.3.3. Efeito da Temperatura na Viscosidade.....	45
2.3.4. Efeito da Concentração na Viscosidade	48
CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS	50
3.1. Matéria-prima.....	50
3.2. Métodos	51
3.2.1. Análises Químicas.....	51
3.2.2. Determinação de Atividade de Água.....	52
3.2.3. Determinação da Densidade	53
3.2.4. Determinação do Calor Específico.....	54

3.2.5. Determinação da Difusividade Térmica.....	56
3.2.6. Determinação da Condutividade Térmica.....	58
3.2.7. Caracterização Reológica.....	59
3.2.8. Microfotografia das Partículas de Suco de Acerola a 8°Brix.....	61
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
4.1. Caracterização Química da Matéria-Prima a 21°Brix.	62
4.2. Determinação das Propriedades Físicas e de Transporte	65
4.2.1. Atividade de Água.....	65
4.2.2. Densidade	65
4.2.3. Calor Específico	68
4.2.4. Difusividade Térmica.....	70
4.2.5. Condutividade Térmica	75
4.3. Caracterização Reológica.....	77
4.3.1. Análise dos Reogramas	77
4.3.2. Obtenção dos Parâmetros Reológicos	81
4.3.3. Correlação dos Parâmetros “K” e “n” em função da Temperatura (K) e Concentração (°Brix).....	94
4.3.4. Viscosidade Aparente em função da Temperatura e Concentração	102
4.4. Microfotografias das Partículas de Suco de Acerola a 8°Brix	105
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
APÊNDICE A - Resultados obtidos pelo equipamento DSC	117
ANEXO A - Métodos de Análises Químicas	122
ANEXO B - Descrição dos Equipamentos Utilizados na Caracterização Reológica..	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Conteúdo de ácido ascórbico em frutas.....	6
Tabela 02: Teor de ácido ascórbico da fruta acerola produzida em diferentes regiões do Japão, dependendo do grau de maturação	8
Tabela 03: Conteúdo de vitaminas A e do complexo B da acerola.....	9
Tabela 04: Composição de minerais da acerola	10
Tabela 05: Análise da composição química da acerola.....	10
Tabela 06: Características de seleções de aceroleiras cultivadas no Agricultural Experiment Station, University of Puerto Rico, Rio Piedras	11
Tabela 07: Modelo de condutividade térmica de componentes puros para alimentos líquidos na faixa de temperatura de 20 a 100°C	19
Tabela 08: Modelo de difusividade térmica de componentes puros para alimentos líquidos na faixa de temperatura de 20 a 100°C	20
Tabela 09: Condutividade térmica de algumas frutas selecionadas	21
Tabela 10: Valores da difusividade e da condutividade térmica efetiva determinadas em polpas de algumas frutas com suas respectivas: umidade, densidade e calor específico	22
Tabela 11: Modelo de calor específico de componentes puros para alimentos líquidos na faixa de temperatura de 20 a 100°C.....	29
Tabela 12: Fluidos Newtonianos, Lei da Potência e plástico de Bingham como casos especiais do modelo de Herschel-Bulkley	38
Tabela 13: Propriedades reológicas de frutas e produtos vegetais	40
Tabela 14: Comportamento e propriedades reológicas de produtos derivados de frutas e de tomate	41
Tabela 15: Parâmetros reológicos e outros dados dos purês de frutas	43
Tabela 16: Energias de ativação e índice de comportamento de fluxo (n) para fluxo viscoso de sucos e purês de frutas.....	47
Tabela 17: Caracterização química do suco de acerola a 21°Brix.....	62
Tabela 18: Caracterização físico-química do suco de acerola.....	63
Tabela 19: Concentrações de sólidos solúveis (°Brix) e valores para o teor de polpa	63
Tabela 20: Concentrações de sólidos solúveis (°Brix) e valores para atividade de água.....	65
Tabela 21: Concentrações de sólidos solúveis (°Brix) e valores para a densidade à 25°C	65

Tabela 22: Valores de densidade de polpa para três temperaturas, assim como os respectivos °Brix e pH para alguns sucos naturais de frutas	67
Tabela 23: Calor específico (Cp) obtido para o suco de acerola.....	68
Tabela 24: Valores de calor específico (Cp) calculados através de modelos de predição	68
Tabela 25: Difusividade térmica (α) do suco de acerola.....	70
Tabela 26: Valores de difusividade térmica (α) real do suco de acerola em relação aos valores previstos, assim como suas variações	70
Tabela 27: Valores de condutividade térmica (K) calculados através de propriedades termofísicas ($T_{\text{média}} = 50^{\circ}\text{C}$).....	75
Tabela 28: Valores de condutividade térmica (K) calculados através de modelos de predição	75
Tabela 29: Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Ostwald a diferentes temperaturas e concentrações	89
Tabela 30: Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Herschel-Bulkley a diferentes temperaturas e concentrações	89
Tabela 31: Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Casson a diferentes temperaturas e concentrações	90
Tabela 32: Parâmetros do modelo da Lei da Potência obtidos por MATSUURA (1994) para o suco de acerola.....	93
Tabela 33: Resultados dos parâmetros obtidos para K e n em função da temperatura (K) e concentração (°Brix), bem como sua análise estatística para as 4 equações propostas.....	95
Tabela 34: Resultados obtidos para as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix referentes ao teor de polpa e índice de consistência	98
Tabela 35: Resultados de teores de polpa, diâmetro médio das partículas e de n para as respectivas concentrações do suco de acerola.....	99
Tabela 36: Resultados obtidos para as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix referentes ao índice de consistência (K) e à energia de ativação (Ea)	99
Tabela 37: Resultados obtidos para as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix referentes à viscosidade aparente	102
Tabela B1: Especificações relativas ao equipamento Rheotest 2.1	147
Tabela B2: Especificações referentes ao equipamento Brookfield DV-III	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Estrutura do ácido ascórbico a 2,3 - dicetogulônico.....	5
Figura 02: Fluxograma das operações realizadas durante o processamento do suco integral de acerola	13
Figura 03: Esquema interno referente à cápsula contendo amostra e cápsula de referência (vazia).....	31
Figura 04: Classificação geral de comportamento reológico	33
Figura 05: Comportamento de fluidos com propriedades dependentes do tempo	35
Figura 06: Modelos típicos para fluidos Newtonianos e não-Newtonianos (independentes do tempo) para fins comparativos	36
Figura 07: Esquema do calorímetro de mistura	56
Figura 08: Aparelho de difusividade térmica.....	57
Figura 09: Teste de difusividade térmica	58
Figura 10: Sistema de cilindros concêntricos.....	59
Figura 11: Efeito do conteúdo de sólidos solúveis (°Brix) em relação ao teor de polpa do suco de acerola	64
Figura 12: Efeito do conteúdo de sólidos solúveis na densidade do suco de acerola à 25°C.....	66
Figura 13: Representação gráfica de calor específico calculado através de equações empíricas.....	69
Figura 14: Variação de temperatura em função do tempo para determinação da difusividade térmica do suco de acerola a 8°Brix	72
Figura 15: Variação de temperatura em função do tempo para determinação da difusividade térmica do suco de acerola a 15°Brix	73
Figura 16: Variação de temperatura em função do tempo para determinação da difusividade térmica do suco de acerola a 21°Brix	74
Figura 17: Representação gráfica da condutividade térmica calculada através de equações empíricas	76
Figura 18: Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a concentração de 8°Brix a diferentes temperaturas	77
Figura 19: Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a concentração de 15°Brix a diferentes temperaturas	78
Figura 20: Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a concentração de 21°Brix a diferentes temperaturas	78

Figura 21: Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a concentração de 27°Brix a diferentes temperaturas	79
Figura 22: Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a temperatura de 10°C a diferentes concentrações.....	79
Figura 23: Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a temperatura de 30°C a diferentes concentrações.....	80
Figura 24: Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a temperatura de 50°C a diferentes concentrações.....	80
Figura 25: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 8°Brix e 10°C	81
Figura 26: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 8°Brix e 30°C	82
Figura 27: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 8°Brix e 50°C	82
Figura 28: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 15°Brix e 10°C	83
Figura 29: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 15°Brix e 30°C	83
Figura 30: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 15°Brix e 50°C	84
Figura 31: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 21°Brix e 10°C	84
Figura 32: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 21°Brix e 30°C	85
Figura 33: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 21°Brix e 50°C	85
Figura 34: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 27°Brix e 10°C	86
Figura 35: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 27°Brix e 30°C	86
Figura 36: Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 27°Brix e 50°C	87
Figura 37: Parâmetros reológicos K e n em função da concentração para a temperatura de 10°C	91
Figura 38: Parâmetros reológicos K e n em função da concentração para a temperatura de 30°C	92

Figura 39: Parâmetros reológicos K e n em função da concentração para a temperatura de 50°C	92
Figura 40: Efeito combinado da temperatura e da concentração em relação ao índice de consistência (K)	97
Figura 41: Valores de índice de consistência experimental em relação ao índice de consistência do modelo em função da temperatura e concentração	97
Figura 42: Efeito da temperatura com relação ao índice de consistência para a concentração de 8°Brix	100
Figura 43: Efeito da temperatura com relação ao índice de consistência para a concentração de 15°Brix	100
Figura 44: Efeito da temperatura com relação ao índice de consistência para a concentração de 21°Brix	101
Figura 45: Efeito da temperatura com relação ao índice de consistência para a concentração de 27°Brix	101
Figura 46: Efeito combinado da temperatura e da concentração em relação à viscosidade aparente (η_a).....	104
Figura 47: Valores de viscosidade aparente experimental em relação à viscosidade aparente obtida através do modelo em função da temperatura e concentração	104
Figura 48: Microfotografias das partículas do suco de acerola a 8°Brix.....	106
Figura A1: Representação gráfica de calor específico referente à concentração de 8°Brix obtido pelo DSC	118
Figura A2: Representação gráfica de calor específico referente à concentração de 15°Brix obtido pelo DSC	119
Figura A3: Representação gráfica de calor específico referente à concentração de 21°Brix obtido pelo DSC	120
Figura A4: Fotografia do equipamento DSC.....	121

NOMENCLATURA

A	Taxa constante de aquecimento em todos os pontos do cilindro (°C/s)
a_1	Constante das equações 44 a 47
a_2	Constante das equações 44 a 47
a_3	Constante das equações 45 e 47
a_w	Atividade de água (adimensional)
B	Constante da equação 51
b_1	Constante característica determinada experimentalmente
b_2	Constante característica determinada experimentalmente
C	Concentração de sólidos solúveis (°Brix ou porcentagem de sólidos)
C_c	Calor específico do calorímetro (kJ/kg°C)
C_p	Calor específico (kJ/kg°C)
C_{pi}	Calor específico do componente (kJ/kg°C)
C_s	Calor específico da amostra (kJ/kg°C)
C_w	Calor específico da água (kJ/kg°C)
dT/dx	Gradiente de temperatura (°C/m)
E_a	Energia de ativação do escoamento (kcal/gmol)
H	Entalpia de fusão do gelo (kJ/kg)
K	Índice de consistência (Pa.s ⁿ)
K	Condutividade térmica (W/m°C)
K_0	Constante (Pa.s)
$(K_C)^2$	Viscosidade plástica de Casson (Pa.s ^{0,5})
K_{H-B}	Índice de consistência de Herschel-Bulkley (Pa.s ⁿ)
K_i	Condutividade térmica do componente (W/m°C)
K_{LP}	Índice de consistência da Lei da Potência (Pa.s ⁿ)
K_M	Índice de consistência de Mizrahi & Berk (Pa.s ⁿ)
$(K_{OC})^2$	Tensão inicial de Casson (Pa)
K_{OM}	Raíz quadrada da tensão inicial (Pa)
m	Massa da amostra (kg)
m_e	Massa da embalagem (kg)
m_s	Massa da amostra (kg)
m_w	Massa de água (kg)

n	Índice de comportamento de fluxo (adimensional)
q_c	Capacidade calorífica do calorímetro e da embalagem de amostra vazia (kJ)
q	Densidade de fluxo de calor (kJ/s)
Q	Quantidade de calor (J)
R	Raio do cilindro (m)
R	Coefficiente de correlação
R	Constante dos Gases
R_b	Raio do cilindro (m)
R_c	Raio do copo (m)
R^2	Porcentagem de variação explicada (%)
S	Conteúdo de sólidos solúveis (°Brix)
SQR	Soma quadrática devido à regressão (variação explicada)
SQT	Soma quadrática total (variação total)
t	Tempo (s)
T	Temperatura absoluta (K)
T	Temperatura (°C)
T_0	Temperatura no centro do cilindro (°C)
T_e	Temperatura de equilíbrio (°C)
T_i	Temperatura inicial da amostra e do calorímetro (°C)
T_R	Temperatura na superfície do cilindro de raio R (°C)
T_w	Temperatura inicial da água (°C)
V	Volume do picnômetro (m^3)
W	conteúdo de água (decimal - base úmida)
W_g	Peso do gelo (kg)
W_c	Peso do calorímetro (kg)
W_s	Peso da amostra (kg)
W_w	Peso da água adicionada (kg)
$\bar{y}$	Média amostral
y_{obs}	Valor observado ou experimental
y_{pre}	Valor previsto pelo modelo
X_w	Conteúdo de água
X_i	Fração mássica do componente (base úmida)

Letras Gregas

α	Difusividade térmica (m^2/s)
α_w	Difusividade térmica da água (m^2/s)
α_i	Difusividade térmica do componente (m^2/s)
$\dot{\gamma}$	Taxa de deformação (s^{-1})
$\dot{\gamma}_b$	Taxa de deformação no cilindro (s^{-1})
ΔT	Variação de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
η	Viscosidade absoluta (Pa.s)
η_1	Constante característica determinada experimentalmente
η_2	Constante característica determinada experimentalmente
η_{∞}	Constante (Pa.s)
Ω	Velocidade angular de rotação do cilindro (rad.s^{-1})
ρ	Densidade da amostra (kg/m^3)
ρ_w	Densidade da água (kg/m^3)
τ	Tensão de cisalhamento (Pa)
τ_b	Tensão de cisalhamento no cilindro (Pa)
$\tau_{0 \text{ H-B}}$	Tensão inicial de Herschel-Bulkley (Pa)
χ^2	Teste do qui-quadrado (adimensional)

RESUMO

Neste trabalho, o suco de acerola foi caracterizado em relação às propriedades químicas, físicas e de transporte.

Estudou-se a determinação das propriedades físicas (atividade de água, densidade, calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica para as concentrações de 8,0; 15,0 e 21°Brix.

A caracterização reológica do suco foi realizada utilizando os modelos reológicos de Ostwald-de-Waele, Herschel-Bulkley e Casson para as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix e temperaturas de 10,0; 30,0 e 50°C. O modelo de Ostwald representou melhor estatisticamente o comportamento do suco de acerola nas condições estudadas. O efeito combinado da temperatura (T) e da concentração (C) (8,0 - 27°Brix) em relação ao índice de consistência (K) pode ser representado pela equação:

$$K = [(2,83) \times \exp (-0,017 \times T) \times (C^{2,43})]$$

Também foi utilizada a equação de Arrhenius para correlacionar os valores de viscosidade aparente (η_a) em função da temperatura e concentração. Este parâmetro pode ser representado pela seguinte correlação empírica:

$$\eta_a = [(0,0000485) \times \exp (1147,49/T) \times (C^{2,27})]$$

Além disso, foi analisada a composição química para a concentração de 21°Brix, determinando-se, sólidos solúveis (°Brix), pH, acidez total, açúcares redutores, não redutores e totais, sólidos totais, umidade, cinzas, proteína bruta, fibras, pectina e teor de polpa.

Finalmente foram feitas microfotografias do suco de acerola para a concentração de 8°Brix. Os elementos da polpa estão particulados constituindo massas de tecido em torno de 50 μ m de diâmetro e igual quantidade de material fino de até 10 μ m de diâmetro.

Os valores das propriedades obtidas em função da variáveis “temperatura e concentração” poderão ser utilizados para cálculos em engenharia e tecnologia de alimentos.

SUMMARY

In this work, acerola juice was characterized with respect to its chemical, physical and transport properties.

The determination of the physical (water activity, density, specific heat, thermal diffusivity and thermal conductivity) properties was carried out at the concentrations of 8.0; 15.0 and 21°Brix.

The rheological characterization of the juice was affected using the following rheological models: Ostwald-de-Waele, Herschel-Bulkley and Casson, at the concentrations of 8.0; 15.0; 21.0 and 27°Brix and temperatures of 10.0; 30.0 and 50°C. The Ostwald model best represented the behaviour of the acerola juice statistically under the conditions studied. The combined effect of the temperature and the concentration (8 - 27°Brix) in relation to the consistency index can be represented by the equation:

$$K = [(2.83) \times \exp (-0.017 \times T) \times (C^{2.43})]$$

An Arrhenius type equation was used to correlate the apparent viscosity (η_a) values as a function of the temperature and the concentration. This parameter can be represented by the following empirical correlation:

$$\eta_a = [(0.0000485) \times \exp (1147.49/T) \times (C^{2.27})]$$

Moreover, the chemical composition at a concentration of 21°Brix was analyzed, determining soluble solids (°Brix), pH, total acidity, reducing, non-reducing and total sugars, total solids, moisture, ash, protein, fibers, pectin and pulp contents.

Finally, microphotography of the acerola juice was carried out at the concentration of 8°Brix. The pulp elements are particulate consisting of tissue mass of about 50 μm in diameter and an equal quantity of fine material of up to 10 μm in diameter.

The values of the properties obtained as a function of the “temperature and concentration” variables, may be used for calculations in food engineering and technology.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O crescente interesse pelo cultivo da acerola é devido às condições climáticas favoráveis em quase todo o território nacional, bem como no importante papel que pode desempenhar na nutrição e saúde da população brasileira, pois se constituem uma das mais ricas fontes naturais de ácido ascórbico, o que incentivou o estudo de vários pesquisadores.

Devido ao fato da acerola possuir propriedades extraordinárias como o seu conteúdo elevado de ácido ascórbico, o processamento da fruta tem-se intensificado, obtendo-se diversos derivados como: sucos concentrados, geléia, balas, licores, bombons, goma de mascar, néctares, purês, sorvetes, cápsulas de vitamina C, compotas, xarope, conservas e servindo também como ingrediente para enriquecer marmeladas, geléias, sucos de laranjas e iogurtes.

ARAÚJO & MINAMI (1994) reportaram que o Brasil era o maior produtor e consumidor de acerola no mundo. A região sudeste brasileira consumia entre 5 e 6 mil toneladas de frutos por ano, seguida do mercado japonês e europeu com cerca de 2.5 mil toneladas cada um, além da perspectiva do mercado norte-americano.

Existe uma demanda crescente de exportação de frutas tropicais processadas, em especial de sucos concentrados (purês), entretanto verifica-se uma falta de dados em engenharia para o projeto das diversas etapas do processamento. O objetivo deste estudo é a determinação de propriedades físicas do suco de acerola como: densidade, atividade de água e calor específico; propriedades de transporte como: difusividade térmica e condutividade térmica e comportamento reológico em função das variáveis de processo, “Temperatura e Concentração”.

CAPÍTULO 2

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

2.1. A ACEROLA

2.1.1. HISTÓRICO

A origem exata da fruta cereja das Antilhas suscitou dúvidas; foi encontrada no mar das Antilhas, no Norte da América do Sul e América Central. Sabe-se que antes da descoberta da América os Índios a utilizavam e que os nativos se encarregaram de transportá-la de ilha em ilha, e que essa disseminação também contou com o auxílio de pássaros emigrantes. Quando os primeiros europeus entraram em contato com os indígenas ficaram impressionados com a coloração atrativa dos frutos e de ser a planta bastante difundida entre as tribos. Em 1903, a cereja das Antilhas foi introduzida na Flórida, através de Cuba e a seguir em outros países do Continente americano (SIMÃO, 1971).

O interesse pela “cereja das Antilhas” (ASENJO & GUZMÁN, 1946) só foi despertado a partir de 1945, quando os professores Conrad F. Asenjo e Ana Rosa Freire de Gusmán, do Instituto de Bioquímica da Escola de Medicina Tropical, em San Juan, Porto Rico, encontraram na porção comestível, o teor de ácido ascórbico entre 1.000 e 3.300 mg por 100g de polpa. A variação no teor de ácido ascórbico foi devido ao grau de maturação do fruto, sendo o maior teor encontrado nos frutos “verdes” e “de vez”. Portanto, os frutos de cereja das Antilhas eram uma das mais ricas fontes comestíveis de ácido ascórbico.

No Brasil, no período de 1955/56, a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), introduziu algumas sementes de acerola no estado de Pernambuco proveniente de Porto Rico (COUCEIRO, 1985).

A acerola está largamente difundida por toda a América Tropical, África e Antilhas e também tem sido introduzida no Hawai e Índia (SALUNKHE & DESAI, 1984).

MUSTARD (1946) reportou o alto teor de ácido ascórbico na “cereja de barbados”, entre 1.028 a 4.676 mg/100g de polpa e observou que nos frutos, quanto menor o grau de maturação, os mesmos continham maiores quantidades de ácido ascórbico.

Segundo BENSIMON (1991), a fruta acerola não pode ser vendida fresca, porque sua casca é muito fina e se parte muito facilmente com a colheita, o qual causa uma rápida fermentação do fruto, mas em compensação é muito mais rica em vitamina C, possuindo mais de 4 gramas de vitamina C por 100 gramas de polpa, ou seja 50 vezes mais que a laranja e muito mais que o kiwi, por isso em Porto Rico é utilizada como remédio natural para problemas de garganta. No entanto, hoje em dia a fruta pode ser encontrada em pequenas quantidades em sua forma natural.

A geléia feita com essas cerejas continham alto teor de vitamina C, variando entre 509 a 673 mg/100g de geléia, concluindo-se que o cozimento afetara o conteúdo desta vitamina, não o destruindo na sua totalidade (STAHL et al., 1955).

A partir de 1969 a UFRPE multiplicou e disseminou o cultivo dessa planta, já havendo até então, distribuído gratuitamente mais de 100.000 mudas de acerola para o estado de Pernambuco e demais estados brasileiros (COUCEIRO, 1985).

2.1.2. BOTÂNICA

SIMÃO (1971), afirmou que a fruta acerola teve inicialmente uma classificação botânica confusa, sendo a mesma classificada como *Malpighia puniceifolia* e *Malpighia glabra*. O nome de *Malpighia* foi dado em homenagem ao fisiologista italiano Marcello Malpighi, um dos primeiros pesquisadores a utilizar o microscópio para o estudo das estruturas animais e vegetais. O estudo da classificação dessa cereja chamou a atenção dos taxonomistas Woodbury e Sawant do Departamento de Genética da Agricultural Experiment Station de Rio das Pedras, de Porto Rico, que concluíram ser a cereja das Antilhas planta híbrida de *Malpighia puniceifolia* e *Malpighia glabra*.

RUEHLE (citado por SIMÃO, 1971) descreve a *Malpighia glabra* L. como um arbusto glabro, de tamanho médio, com 2 - 3 metros de altura, com ramos densos, espalhados. As folhas são opostas, de pecíolo curto, ovaladas a elíptico-lanceolados, com 2,5 - 7,5 cm de comprimento, a base e o ápice principalmente agudas, inteiras mas freqüentemente ondulantes, verde-escuro e brilhante na superfície superior, e verde-pálido na inferior. As flores são dispostas em pequenas cimeiras axilares pedunculadas de 3 a 5 flores perfeitas, com 1 - 2 cm de diâmetro, e de cor rosa esbranquiçada a vermelho; o cálice tem de 6 a 10 grandes sépalas sésseis; a corola é composta de 5 pétalas franjadas ou irregularmente dentadas, com garras finas; há 10 estames, todos perfeitos com os filamentos unidos em baixo. As frutas são vermelhas ou escarlates, ovóide-deprimidas, com 1 - 3 cm de diâmetro, e de casca fina, com polpa macia, sucosa, azeda, ou sub-ácida; elas dispõem-se isoladas ou em panículas de 2 ou 3 em axilas foliares em pedúnculos curtos. Há usualmente 3 sementes pequenas, cada uma inclusa em um caroço proeminentemente reticulado com pergaminho, e que dão ao fruto um aspecto mais ou menos trilobado. A formação da fruta ocorre rapidamente, pois do florescimento à maturação gasta em média, apenas 22 dias. A frutificação ocorre 3 a 4 vezes durante o ano e em Porto Rico tem sido registradas até 7 colheitas.

Os frutos muitas vezes são chamados de maçã, devido à existência de ácido málico, que comunica à Cereja um perfume similar ao da maçã, além da semelhança na forma e na cor. Os frutos normalmente apresentam 3 sementes e um suco avermelhado que representa 80% do peso total do fruto (SIMÃO, 1971).

2.1.3. ÁCIDO ASCÓRBICO

O ácido L-áscorbico, é uma ceto-lactona que se assemelha a α -glicose, sendo uma vitamina sólida, cristalina e de cor branca, solúvel em água, álcool e acetona, insolúvel em solventes das gorduras.

Conhecido como vitamina C, encontra-se amplamente difundidos no Reino Vegetal (frutas e hortaliças) e no Reino Animal (leite, órgãos de elevada atividade metabólica).

O ácido ascórbico, inicialmente, encontra-se em equilíbrio reversível com o ácido dehidroáscórbico. Precipita-se pelo acetato básico de chumbo, é redutor, reduzindo os reagentes de Tollens, Fehling e Benedict. Sofre a ação de oxidantes energéticos sobretudo em presença de metais pesados (Cu^{++} , Fe^{+++} , Hg^{++}) degradando-se em ácido oxálico e ácido L-treônico. É termoestável quando no estado cristalino, mas sensível à luz. Sofre hidrólise irreversível em solução produzindo o ácido 2,3-dicetogulônico. Esta reação leva a produção de CO_2 e de produtos de decomposição, além da perda de vitamina C.

A principal razão da perda de vitamina C é pelo cozimento dos vegetais na presença de oxigênio durante os processos de industrialização. Enzimas oxidativas também a destroem e a presença de O_2 ativa a oxidação.

As estruturas das reações químicas descritas, são apresentadas na figura (1).

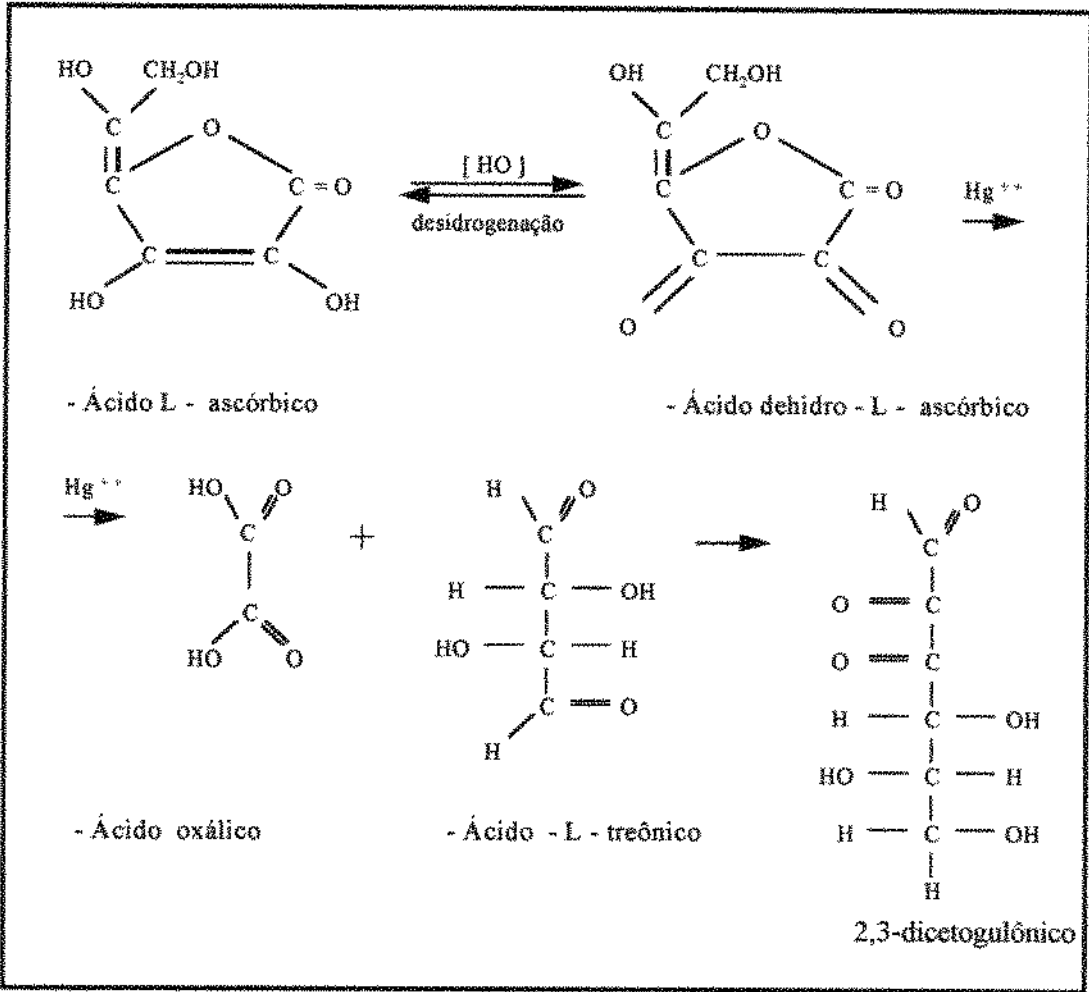


Figura 01 - Estrutura do ácido ascórbico a 2,3-dicetogulônico

Fonte: LEHNINGER (1977)

A carência de vitamina C provoca uma doença denominada ESCORBUTO e com o agravamento do quadro causa queda geral da resistência orgânica, infecção secundária, queda dos dentes e a morte acontece por hemorragias internas e infecções graves.

Devido a esses fatos, chamou a atenção dos pesquisadores do mundo inteiro o alto teor de vitamina C encontrado na acerola comparado com outras frutas.

De acordo com a tabela (1), pode-se observar esses teores em algumas frutas.

Tabela 01 : Conteúdo de ácido ascórbico em frutas

Fruta	Ácido ascórbico (mg/100g)	Fruta	Ácido ascórbico (mg/100g)
Abacate	15	Limão	50 - 80
Abacaxi	20 - 40	Maçã	10 - 30
Acerola	1000 - 4.676	Mamão	36 - 109
Ameixa	6,10	Manga	7 - 147
Amora	210	Melancia	9
Banana	5 - 10	Melão	13 - 33
Cabeludinha	706 - 2.417	Morango	40 - 90
Caju	147 - 548	Pêra	2,3 - 3,5
Fruta do Conde	23 - 486	Pêssego	7 - 14
Goiaba	300	Tangerina	15 - 56
Laranja Doce	37 - 80	Uva	35 - 45

Fonte : Adaptada de MOSER & BENDICH (1991); COUCEIRO (1985); FRANCO (1992); LEDIN (1958)

O crescente interesse no cultivo da acerola é devido ao fato de ser uma das mais ricas fontes naturais de ácido ascórbico, com teores comparáveis aos encontrados no **camu-camu** (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh), fruto de planta nativa da Amazônia Central, que apresentou conteúdo de vitamina C, com o total equivalente a 2.950,62 mg/100g de polpa integral (ANDRADE et al., 1991) e a fruta **cabeludinha** (*Eugenia tomentosa*) com cerca de 2.500 - 2.900 mg/100g (FONSECA et al., 1969).

O suco de acerola pode ser usado para enriquecer outros sucos escassos em ácido ascórbico. Uma pequena quantidade adicionada ao suco a ser enriquecido (1:10),

produziria uma mistura com teor de ácido ascórbico superior ao encontrado em suco de laranja. Uma maneira conveniente de fortificar alimentos sem ter que recorrer ao uso de produtos sintéticos (ASENJO & MOSCOSO, 1950).

LEME et al. (1973) estudaram a estabilidade do ácido ascórbico e do beta-caroteno durante a liofilização e armazenamento da polpa de cereja das Antilhas. Constatou-se em dois ensaios que em ambas as liofilizações (I e II), a perda de ácido ascórbico durante a desidratação foi mínima 6,4 e 3,6%, respectivamente, e que a perda média mensal foi de 1,1 e 0,9% durante o armazenamento à temperatura ambiente.

ITOO et al. (1990) compararam o teor de ácido ascórbico para a fruta acerola colhida em três diferentes regiões do Japão com três graus de maturação (verde, “de vez” e madura). O teor de ácido ascórbico para a fruta verde foi mais elevado (3.200 mg/100g) e decresce com a maturação da fruta. Entre as três diferentes regiões o teor de ácido ascórbico foi elevado na seguinte ordem: Nago > Naze > Ibusuki (tabela 2). Ou seja, o teor de ácido ascórbico da fruta tornou-se mais acentuado ao aproximar-se da região sul (mais temperada). A proporção de ácido ascórbico reduzido em relação ao ácido ascórbico total foi de aproximadamente 90%, mostrando que a fruta acerola é uma excelente fonte de ácido ascórbico.

PANTASTICO et al. (1975a) concluíram que o conteúdo de ácido ascórbico foi muito mais baixo no final da estação, indicando que a porcentagem desta vitamina é reduzida com a maturação da fruta.

A fruta madura possui mais atividade enzimática que a fruta verde, o que explica o porquê do teor de ácido ascórbico na fruta madura ser muito mais baixo que na verde (SALUNKHE & DESAI, 1984).

FONSECA et al., (1969) analisaram o conteúdo de ácido ascórbico em 30 diferentes tipos de frutas. Com teores extremamente elevados e destacando-se bastante das demais, foram confirmadas a cabeludinha e a cereja das Antilhas com (2.500 - 2.900 mg/100g) e (1.500 - 2.890 mg/100g), respectivamente.

FITTING & MILLER (1960) estudaram a retenção de ácido ascórbico em suco de acerola congelado e engarrafado (com e sem açúcar), provenientes de frutos de vez e maduros extraídos por prensagem a quente e a frio. Após oito meses de estocagem observaram que todos os sucos retiveram aproximadamente 82 a 87% de ácido ascórbico para os congelados e de aproximadamente 60% para os engarrafados. Os sucos sem açúcar, foram utilizados para enriquecer outros sucos como: abacaxi, maracujá e goiaba, sendo que estes apresentaram uma retenção de ácido ascórbico de 84 a 92% para os sucos congelados e 57 a 73% para os engarrafados.

Tabela 02 : Teor de ácido ascórbico da fruta acerola produzida em diferentes regiões do Japão dependendo do grau de maturação

Produção Regional	Grau de Maturação	Brix	pH	Ácido Málico (%)	Ácido Ascórbico			
					AAT (mg)	ADH (mg)	AA (mg)	$\frac{AA}{AAT}$ (%)
Ibusuki (18/Junho)	Verde	8,0	3,60	0,91	2150	165	1985	92,3
	De vez	8,8	3,60	0,86	1750	165	1585	90,6
	Madura	9,4	3,68	0,75	1455	170	1285	88,3
Naze (06/Agosto)	Verde	8,6	3,98	1,07	2775	285	2490	89,7
	De vez	9,0	4,02	1,05	2440	235	2005	89,5
	Madura	9,1	4,05	0,78	1775	190	1585	89,3
Nago (18/Junho)	Verde	8,6	3,75	1,31	3200	320	2880	90,0
	De vez	8,8	3,70	1,13	2230	185	2145	92,1
	Madura	9,2	3,65	0,97	1825	190	1635	89,6

Fonte : ITOO et al. (1990)

onde:

AA: Ácido Ascórbico - AAT: Ácido Ascórbico Total - ADH: Ácido dehidroascórbico

MILLER et al. (1961) citaram a acerola como uma riquíssima fonte de vitamina C, porém uma fonte pobre de vitaminas do complexo B e uma fonte regular de vitamina A (Caroteno). A mesma não foi considerada como uma fonte significativa de minerais. As tabelas (3 e 4) mostram os valores vitamínicos e de minerais, respectivamente.

O teor de ácido ascórbico (tabela 5) é aproximadamente 30 a 50 vezes aquele encontrado na laranja, implicando que 1 a 2 frutos de acerola, dependendo do tamanho e da concentração de ácido ascórbico, são suficientes para suprir o requerimento humano diário dessa vitamina.

Foi verificado que as condições de colheita influenciam no conteúdo de vitamina C. A exposição do fruto colhido à insolação direta por um período superior a 4 horas promoveu significantes perdas no teor de ácido ascórbico, entretanto, frutos armazenados à sombra no campo, sofreram pequena perda de ácido ascórbico (NAKASONE et al., 1966).

A acerola além do ácido ascórbico, contém também outros ácidos orgânicos. A acidez total no suco (ml de 0,1 N NaOH /100 ml de suco) em frutos maduros variou entre 81,6 a 188,5 ml e, parcialmente maduros, de 133,8 a 208,4 ml (tabela 6). A acidez do suco variou proporcionalmente ao ácido ascórbico presente, mas não de forma linear, provavelmente devido à presença de outros ácidos, em particular, ácido l-málico 25 a 50% dos ácidos totais presentes na acerola (SALUNKHE & DESAI, 1984).

Tabela 03 : Conteúdo de vitaminas A e do complexo B da acerola

Vitaminas	Suco ^①	Fruta com Caroço ^①	Polpa ^②
	µg/100g	µg/100g	mg/100g
Caroteno	-	-	0,408
Tiamina (Vitamina B1)	30	30	0,028
Riboflavina (Vitamina B2)	50	50	0,079
Niacina (Vitamina PP)	290	407	0,34
Piridoxina (Vitamina B6)	4,4	8,7	-

Fonte : ASENJO (1980), citando (1) DERSE & ELVEJHEM (1954); (2) MILLER et al. (1961)

Tabela 04 : Composição de minerais da acerola

Mineral	Suco	Fruta com Caróço	Polpa ②
	mg/100 g	mg/100 g	mg/100 g
Cálcio	9,9	11,7	8,7
Fósforo	8,8	10,9	16,2
Ferro	0,54	0,24	0,17
Chumbo	31	120	-
Ácido Arsênico	10	10	-
Sódio	3,2	2,7	-
Flúor	14	10	-

Fonte : ASENJO (1980); (2) MILLER et al. (1961)

Tabela 05 : Análise da composição química da acerola

Constituintes	ACEROLA		
	Suco ①	Fruta com Caróço ②	Polpa ②
Proteína (N x 6,25%)	0,39	0,39	0,68
Umidade (%)	94,15	92,18	91,10
Cinzas (%)	0,21	0,20	0,45
Ácidos Graxos (%)	0,28	0,34	0,19
Fibra Bruta (%)	0,26	0,43	0,60
Carboidrato por diferença (%)	4,71	6,36	6,98
pH	3,5	3,60	-
Ácido Ascórbico reduzido (mg/100 g)	1.455,80	1.496,40	2.329,00
Ácido dehidroascórbico (mg/100g)	38,2	196,40	-
Conteúdo de Vitamina C Total (mg/100g)	1.494,00	1.692,00	-

Fonte : ASENJO (1980), citando (1) DERSE & ELVEJHEM (1954); (2) MILLER et al. (1961)

Tabela 06 : Características de seleções de aceroleiras cultivadas no Agricultural Experiment Station, University of Puerto Rico, Rio Piedras

Características	Fruto Parcialmente Maduro	Fruto Maduro
Peso (g)	3,1	4,7
Diâmetro (cm)	1,7	2,2
(% de peso de fruto)	55,3	69,6
Água em todo o fruto (%)	83,3	83,4
Sólidos no suco (%)	5,99	5,85
pH do suco	3,2	3,3
Ácidos totais (ml de NaOH 0,1N/100 ml suco)	162,3	135,9
Açúcares redutores (após a correção de ácido ascórbico) como glucose (g/100 ml suco).	3,2	4,1
Ácido ascórbico no suco, mg/100 ml de suco (2,6 di-clorofenol indofenol titraciona)	1.713	1.200

Fonte : ASENJO (1980), adaptada de ASENJO & MOSCOSO (1950)

A adição de uma parte de suco de acerola a 27 partes do suco a ser enriquecido, é suficiente para aumentar o teor de ácido ascórbico em cerca de 50 a 60 mg por 100 ml de suco (ASENJO, 1980; NIEVA, 1955)

De acordo com o sabor da fruta, as variedades foram classificadas em doces e ácidas (SIMÃO, 1971) sendo que estas, possuem maior quantidade de ácido ascórbico que as doces.

ASENJO et al. (1960) isolaram uma enzima chamada ascorbato oxidase em frutos maduros armazenados à baixas temperaturas. Entretanto, a atividade desta enzima foi rapidamente perdida quando a fruta foi armazenada nessas condições. A fruta madura fresca teve mais atividade enzimática que a verde, o que explica porque o conteúdo de ácido ascórbico da fruta madura ser muito menor que da fruta verde.

PANTASTICO et al. (1975a) recomendaram temperaturas de 0°C e 85 a 90% de umidade relativa para prolongar a vida de armazenamento da acerola por aproximadamente 8 semanas, com perda média de 6,3% de peso.

PANTASTICO et al. (1975b) afirmaram que testes não padronizados estão disponíveis para estabelecer com precisão o estágio em que a acerola pode ser colhida. Critérios tais como: sabor, cor e doçura são ocasionalmente usados como ótimos meios de avaliação da maturação da fruta. Estas são colhidas quando começam a tornar-se rosa alaranjado ou levemente vermelhas. Em alguns casos, as frutas são colhidas no estágio verde quando são transportadas para pontos comerciais distantes.

2.1.4. PROCESSAMENTO DO SUCO INTEGRAL DE ACEROLA

As diversas etapas do processamento para obtenção do suco, equivalente ao processo industrial, são descritas a seguir:



Figura 02 - Fluxograma das operações realizadas durante o processamento do suco integral de acerola

Fonte : COMPANHIA DE CÍTRICOS DO BRASIL (1997)

Memorial Descritivo Do Processo De Fabricação - Suco De Acerola Integral

1 - 1ª Lavagem (tanque de lavagem)

Nesta etapa o fruto é imerso em água sob borbulhamento de ar. A operação de lavagem é realizada em um tanque de imersão construído em aço inox AISI 304 com capacidade para 40 ton/hora de fruta.

2 - 2ª Lavagem (aspersão)

Após a primeira lavagem por imersão, os frutos são enviados a uma esteira para jateamento com água sob circulação forçada, com a finalidade de retirar partes de detritos que aderem a casca.

3 - Seleção

Após os preparativos do fruto quanto à higienização, os mesmos seguem pelas esteiras rolantes para inspeção visual. Nesta etapa são retiradas de linha os frutos indesejáveis para o processo ou seja, frutos deteriorados, verdosos, resíduos de folhas, insetos, etc.

4 - Extração do Suco

A fruta, após as operações anteriores, é conduzida para o sistema de extração do suco, constituído de DESPOLPADOR, com tela de 2 mm para separação do bagaço da casca e semente. Na região inicial do batedor, o fruto recebe sucessivos impactos de réguas e é forçado sob a tela; no mesmo equipamento um jogo de escovas faz o complemento de retirada da polpa, separando-se apenas o desejado.

5 - Despolpamento-Refinamento

O processo de despolpamento-refinamento, consiste em separar o suco das partes fibrosas da fruta e de pedaços de casca. O grupo de despolpamento-refinamento contém dois estágios, sendo constituído basicamente de peneiras cilíndricas, as quais possuem em seu interior um eixo de aço inoxidável AISI 316, equipado com escovas de “nylon”. A primeira peneira (despolpadeira) separa o material mais grosseiro que possa ser retido em

tela de diâmetro igual a 0,8 mm. A segunda peneira (refinadeira) dá o acabamento final ao suco, no aspecto referente ao teor de “polpa” final. Este equipamento utiliza peneiras em aço inoxidável, tendo perfurações com diâmetro igual a 0,5 mm.

6 - Recepção do Suco (tanque de equilíbrio)

Após o processo de despolpamento-refinamento, o suco é recebido em um conjunto de dois tanques de equilíbrio, construído em aço inoxidável AISI 316. Os tanques possuem agitadores mecânicos apropriados, de modo a garantir uma perfeita mistura. Nesta etapa é feita uma correção de Brix.

7 - Ciclone e Centrifugação

No processo de acabamento o suco já despolpado e com suas partículas reduzidas sofre um apuramento através de uma centrifugação. Pode-se padronizar o produto final quanto ao seu percentual de sólidos em suspensão ao mesmo tempo em que se promove um melhor aspecto do produto. O equipamento utilizado para esta finalidade é uma separadora Centrífuga dotada de pratos sob rotação de 1.800 rpm e descargas automáticas para o resíduo.

8 - Desaeração (desaeradores)

As operações anteriores são realizadas no menor tempo possível, evitando-se assim a incorporação do ar no produto, ar este que além de provocar oxidações do suco, causando inclusive o escurecimento, produz outras reações que afetam a qualidade da bebida. O processo de desaeração, consiste na “remoção do oxigênio” ou “desoxigenação”, evitando-se os efeitos indesejáveis do ar. Este é contínuo em câmara a vácuo, na qual o produto a uma temperatura adequada é introduzido sob forma de “spray” para aumentar a eficácia da remoção dos gases.

9 - Pasteurização

É uma operação de tratamento térmico, que tem por finalidade eliminar os microorganismos causadores de deterioração do produto e também inativar as enzimas presentes. A fruta é extremamente susceptível ao ataque de fungos, bactérias e leveduras,

mas em relação ao suco, a incidência desses microorganismos se reduz sensivelmente. No caso do suco, a maior parte da contaminação ocorre durante a operação de corte da fruta, se esta não tiver sido submetida a uma lavagem bem eficiente. O pasteurizador usado é de placas, com capacidade para 3.000 kg/h de suco de acerola com 7ºBrix e opera com programa de temperatura de produto de:

	TAMBOR
Temperatura de entrada	45°C
Temperatura de pasteurização	90°C
Temperatura de saída	5°C
Retenção tubular	45 seg.
Meio de aquecimento (água quente à 105°C)	
Meio de resfriamento (Solução água/álcool etílico à -5°C)	

Este tratamento térmico tem por finalidade a inativação das enzimas, assim como a inibição de microorganismos presentes. Após o referido tratamento térmico, uma amostra representativa do lote é tomada e analisada em laboratório, sendo feita as seguintes determinações: pH, Brix, acidez total, cor, defeitos, sabor e análises microbiológicas, se o padrão de qualidade estabelecido for atendido, o produto é então liberado para comercialização.

10 - Acondicionamento do Produto

O produto é acondicionado em tambores metálicos de 200 litros. O tambor é revestido de dois sacos de polietileno de modo a não permitir contato com a superfície metálica.

11 - Armazenamento

O armazenamento do produto deve ser em tambores colocados em câmara de congelamento sob temperatura de -18 a -20°C, sem oscilações. Nestas condições permanece ideal para consumo por dois anos.

2.2. PARÂMETROS FÍSICOS LIGADOS À TRANSFERÊNCIA DE CALOR

2.2.1. CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade térmica é um parâmetro fundamental para qualquer processo térmico, tanto no que diz respeito ao dimensionamento de equipamentos quanto à sua otimização e conservação de energia, bem como caracterização de substâncias (PIETROBON et al., 1987).

A condutividade térmica é uma propriedade termofísica do material, que quantifica o fluxo de calor que passa através deste sob a influência de um gradiente de temperatura.

A condutividade térmica (K), é definida como a quantidade de calor por unidade de tempo que passa através de uma placa de espessura e área unitária, tendo uma diferença de temperatura entre as faces, ou ainda, é a constante de proporcionalidade entre o fluxo de calor (q) e o gradiente. Para o caso da condução unidimensional de calor através de um sistema, tem-se a equação constitutiva:

$$q = - K \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

onde:

- q $\Rightarrow$ densidade de fluxo de calor (kJ/s)
- K $\Rightarrow$ condutividade térmica (W/m°C)
- dT/dx $\Rightarrow$ gradiente de temperatura (°C/m)

A equação (1) é conhecida como a equação fundamental da Transferência de Calor, ou lei de Fourier. O sinal negativo indica que o fluxo está escoando na direção da diminuição do gradiente de temperatura.

A determinação da condutividade térmica de líquidos é importante, devido a dois enfoques:

- Científico: pois possibilita a compreensão dos processos moleculares básicos envolvidos nos fenômenos de transporte em geral.

- Tecnológico: seu valor é necessário na maioria dos cálculos de projeto e análise de sistemas de engenharia em geral, bem como dos processos alimentícios.

SWEAT (1986) relatou que muitos modelos tem sido apresentado para estimar a condutividade térmica de vários produtos alimentícios. A seguir são descritas as equações (2 e 3) de predição KOLAROV & GROMOV (citado por SWEAT, 1986) e SWEAT (1986), respectivamente.

$$K = 0,140 + 0,42 (W) \Rightarrow \text{para sucos de frutas} \quad (2)$$

$$K = 0,148 + 0,493 (W) \Rightarrow \text{para frutas e vegetais} \quad (3)$$

onde:

$W \Rightarrow$ conteúdo de água (decimal - base úmida)

CHOI & OKOS (citado por SWEAT, 1986) desenvolveram uma expressão (equação 4) para estimar a condutividade térmica de alimentos líquidos como uma função da fração mássica da água, proteína, carboidrato, gordura e conteúdo de cinzas.

$$K = 0,61 X_W + 0,20 X_P + 0,205 X_C + 0,175 X_F + 0,135 X_A \quad (4)$$

onde os subscritos W, P, C, F, e A são respectivamente fração mássica de: água, proteína, carboidrato, gordura e conteúdo de cinza.

CHOI & OKOS (1986) também desenvolveram modelos matemáticos gerais para calcular a condutividade térmica de produtos alimentícios baseados em dados da literatura na faixa de 20 a 100°C. Os valores das condutividades térmicas (K_i) de cada componente puro podem ser calculadas como uma função linear da temperatura e estão apresentados na tabela (7).

O modelo geral tem a seguinte forma:

$$K = \sum (K_i X_i) \quad (5)$$

onde:

$K_i \Rightarrow$ condutividade térmica do componente

$X_i \Rightarrow$ fração mássica do componente (kg espécie i / kg massa total, base úmida)

Tabela 07 : Modelo de condutividade térmica de componentes puros para alimentos líquidos na faixa de temperatura de 20 a 100°C

Propriedade Térmica	Modelos para Componentes Puros
K (W/m°C)	$K_w = 5.9075 \times 10^{-1} + 9.8601 \times 10^{-4} T$
	$K_p = 1.8730 \times 10^{-1} + 7.8776 \times 10^{-4} T$
	$K_f = 1.8022 \times 10^{-1} - 1.6148 \times 10^{-4} T$
	$K_c = 1.9306 \times 10^{-1} + 8.4997 \times 10^{-4} T$
	$K_a = 1.2863 \times 10^{-1} + 3.9130 \times 10^{-4} T$

Fonte : CHOI & OKOS (1986)

onde:

Os subscritos **w, p, f, c, e a** são respectivamente: água, proteína, gordura, carboidrato e conteúdo de cinza.

2.2.2. DIFUSIVIDADE TÉRMICA

A difusividade térmica é uma propriedade termofísica definida como a razão entre a condutividade térmica e a capacidade calorífica volumétrica. É um dado requerido para numerosos cálculos, relacionados em especial com processos em que ocorre transferências de calor variável com o tempo. A capacidade calorífica volumétrica corresponde ao produto da densidade pelo calor específico, em consequência, é possível determinar em forma indireta a condutividade térmica ao se conhecer a difusividade térmica e as outras propriedades indicadas (ALVARADO, 1994).

$$\alpha = \frac{K}{\rho C_p} \tag{6}$$

onde:

- $\alpha \Rightarrow$ difusividade térmica (m²/s)
- $K \Rightarrow$ condutividade térmica (W/m°C)
- $\rho \Rightarrow$ densidade (kg/m³)
- $C_p \Rightarrow$ calor específico (kJ/kg°C)

RIEDEL (citado por CHOI & OKOS, 1986) apresentou uma equação empírica (equação 7) para calcular a difusividade térmica com precisão de aproximadamente 5% de erro. Esta expressão inclui uma vasta faixa de produtos alimentícios com limitação de conteúdo de água acima de 40%.

$$\alpha = 0,088.10^{-6} + (\alpha_w - 0,088.10^{-6}) X_w \tag{7}$$

onde:

$\alpha_w \Rightarrow$ difusividade térmica da água (m²/s)

$X_w \Rightarrow$ conteúdo de água (decimal)

O mesmo autor, reportou que a difusividade térmica é fortemente dependente do conteúdo de água como qualquer outra propriedade térmica.

CHOI & OKOS (1986) desenvolveram modelos matemáticos gerais para calcular a difusividade térmica de produtos alimentícios baseados em dados da literatura na faixa de 20 a 100°C. Os valores das difusividades térmicas (α_i) de cada componente puro podem ser calculadas como uma função linear da temperatura e estão apresentados na tabela (8).

O modelo geral tem a seguinte forma:

$$\alpha = \Sigma (\alpha_i X_i) \tag{8}$$

onde:

$\alpha_i \Rightarrow$ difusividade térmica do componente

$X_i \Rightarrow$ fração mássica do componente

Tabela 08 : Modelo de difusividade térmica de componentes puros para alimentos líquidos na faixa de temperatura de 20 a 100°C

Propriedade Térmica	Modelos para Componentes Puros
α (x 10 ⁻⁶ m ² /s)	$a_w = 1.3988 \times 10^{-1} + 3.0429 \times 10^{-4} T$
	$a_p = 8.7055 \times 10^{-2} + 2.4021 \times 10^{-4} T$
	$a_f = 1.0306 \times 10^{-1} + 1.5507 \times 10^{-4} T$
	$a_c = 9.0371 \times 10^{-2} + 2.4548 \times 10^{-4} T$
	$a_a = 8.3039 \times 10^{-2} + 1.1764 \times 10^{-4} T$

Fonte: CHOI & OKOS (1986)

onde:

Os subscritos **w, p, f, c, e a** são respectivamente: água, proteína, gordura, carboidrato e conteúdo de cinzas.

2.2.3. CONDUTIVIDADE E DIFUSIVIDADE TÉRMICA DE SUCOS E FRUTAS

MATTÉA et al. (1986) desenvolveram modelos matemáticos para calcular a condutividade térmica de vegetais em função do conteúdo de água, as diferenças com respeito a valores experimentais de maçã, pêra e batata foram inferiores a 8%.

SWEAT (1974) determinou valores de condutividade térmica experimental de frutas e vegetais selecionados, utilizando uma sonda linear desenvolvida especificamente para medidas de condutividade térmica de pequenas amostras alimentícias. Entretanto o autor não especificou a concentração de sólidos solúveis dos produtos estudados. A tabela (9) apresenta os valores para a condutividade térmica de algumas frutas com suas respectivas umidades.

Tabela 09 : Condutividade térmica de algumas frutas selecionadas

Frutas	Umidade (%)	k (W/m°C)
Morango	88,8	0,462
Maçã verde	88,5	0,422
Maçã vermelha	84,9	0,513
Pêssego	88,5	0,581
Nectarina	89,8	0,585
Pêra	86,8	0,595
Abacaxi	84,9	0,549
Laranja	85,9	0,580

Fonte : SWEAT (1974)

ALVARADO (1994) determinou a difusividade térmica efetiva em polpas de 30 frutas, utilizando cilindros de cobre com dimensões que permitem considerar uma geometria finita e infinita, pelo método de transferência de calor em estado variável. As provas foram realizadas entre 20 e 65°C e a linearidade observada na representação da variação de temperatura em escala semi-logarítmica invertida, indica que o principal mecanismo de transferência de calor em polpas de frutas é a condução. Os dados obtidos foram inferiores a valores relatados para sucos. A tabela (10) apresenta valores das propriedades térmicas de transporte correspondente às polpas de algumas frutas.

Tabela 10 : Valores de difusividade e da condutividade térmica efetiva determinadas em polpas de algumas frutas com suas respectivas: umidade, densidade e calor específico

Produto	Umidade (g/100g)	Densidade a 40°C (kg/m ³)	Cp (J/kg°k)	α^* (m ² /s)10 ⁷	K (W/m°K)
Abacate	75,9	973	3442	1,16	0,39
Banana	75,2	968	3308	1,38	0,44
Cereja	74,9	977	3243	1,55	0,49
Pêssego	87,4	951	3422	1,57	0,51
Morango	91,8	963	3699	1,47	0,52
Goiaba	86,4	1006	3512	1,40	0,49
Lima	90,1	967	3675	1,32	0,47
Tangerina	87,3	1029	3634	1,31	0,49
Maçã	86,8	870	3523	1,30	0,40
Melão	93,7	977	3667	1,59	0,57
Amora	86,7	960	3612	1,60	0,55
Laranja	85,3	1020	3602	1,56	0,57
Mamão	89,5	965	3444	1,33	0,44
Pêra	82,1	977	3589	1,61	0,56
Abacaxi	85,3	810	3410	1,81	0,50
Melancia	92,6	972	3899	1,37	0,52
Toronja	88,3	1003	3561	1,30	0,46
Uva	81,6	981	3503	1,25	0,43

Fonte : ALVARADO (1994)

(*) Temperatura inicial da amostra (20°C), do banho de água (65°C).

BHOWMIK & HAYAKAWA (1979) usaram uma célula de difusividade térmica semelhante a de DICKERSON (1965) e encontraram valores em duplicata para polpa de tomate de $1,46 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,50 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, sendo estes superiores aos valores encontrados na literatura em 4,28% e 7,14%, respectivamente e para polpa de maçã de $1,58 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,62 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, sendo estes superiores aos valores encontrados na literatura em 3,94% e 6,57%, respectivamente. Entretanto, os autores não citaram as concentrações utilizadas nos experimentos.

HAYES (1984) determinou a difusividade térmica de polpa de mamão, encontrando valores de $1,52 \times 10^{-7} \pm 0,11 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ com conteúdo de água de $87,6\% \pm 1,3\%$.

SILVA (1997) utilizando uma cápsula metálica de geometria de cilindro infinito, determinou a difusividade térmica de polpa de abacaxi às concentrações de 15 e 25°Brix com 84,64 e 75,03% de umidade, os resultados obtidos foram de $1,84 \times 10^{-7}$ e $1,74 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente. A autora relata que os valores obtidos por determinação experimental foram cerca de 25% superiores aos preditos, $1,44 \times 10^{-7}$ e $1,37 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ para polpa de abacaxi a 15 e 25°Brix, respectivamente.

2.2.4. MÉTODOS DE MEDIDA PARA CONDUTIVIDADE E DIFUSIVIDADE TÉRMICA

PIETROBON et al. (1987) com o objetivo de determinação experimental da condutividade térmica, tanto a real como a efetiva, utilizaram dois tipos de equipamentos:

(i) Sonda linear (regime transiente) $\Rightarrow$ para sistemas sólido-fluido.

A teoria do método da sonda é basicamente a mesma que a teoria do método do fio quente, que se baseia na relação entre a condutividade térmica e o aumento de temperatura causado por uma fonte linear de calor num meio homogêneo.

O desempenho das sondas, mostra que entre o que se pretende no projeto e o que se obtém na prática não necessariamente coincidem, necessitaria de mais testes de reprodutividade e levantar as condições nas quais elas se aplicam.

(ii) Placas paralelas horizontais (regime permanente) $\Rightarrow$ para líquidos.

A célula propriamente dita, contém uma fonte quente, uma fonte fria, duas placas de cobre perfeitamente polidas em contato direto com as respectivas fontes, duas placas de vidro padrão e uma placa de vidro vazada onde é confinada a amostra líquida.

Devido à facilidade de construção face às possibilidades operacionais, os testes realizados indicam que o sistema já se encontra em condições de operação e que a precisão dos dados é praticamente a do padrão.

FREIRE et al. (1984) desenvolveram um equipamento para a determinação da condutividade térmica, utilizando o método da barra dividida. Os padrões secundários utilizados foram calibrados a partir de padrões de quartzo fundido. Através da escolha adequada de padrões e da amostra, o equipamento pode ser utilizado para efetuar medidas em materiais sólidos, líquidos e em sistemas particulados.

(iii) DICKERSON (1965) desenvolveu um aparelho experimental para medir difusividade térmica de alimentos. O método está baseado em uma condição de transferência de calor em regime transiente, por meio da qual as temperaturas da amostra aumentam linearmente com o tempo, assim minimizando a dificuldade de satisfazer as condições de contorno. Simultaneamente, a diferença de temperatura entre o centro e o raio externo constante indica que a difusividade térmica é invariável com o tempo, portanto facilitando a análise e interpretação dos dados. O método produz dados aplicáveis sobre o intervalo de temperatura através do qual a amostra é aquecida a uma taxa constante e permite o cálculo da difusividade térmica a partir de um único experimento. As condições necessárias são satisfeitas quando o termo geral $\frac{\partial T}{\partial t}$, na equação de transferência de calor é constante, ou seja, todo o cilindro é aquecido à taxa constante em todos os pontos. A equação de transferência de energia térmica, considerando que não se tem transporte convectivo e dissipação viscosa, resulta:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (9)$$

portanto :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (10)$$

onde: $\alpha = K/\rho.C_p$

Para coordenadas cilíndricas, a equação (10) transforma-se:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = C = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (11)$$

Quando temos um cilindro longo isolado nas pontas, pode-se considerar que:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \Rightarrow \text{se não são permitidos gradientes de temperaturas paralelas ao eixo cilindro.}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} = 0 \Rightarrow \text{não existe diferenças de temperatura ao redor da circunferência.}$$

o que conduz a:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = C = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \tag{12}$$

Identificando a constante C, temos: C = A

$$\frac{\partial T}{\partial t} = A = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \tag{13}$$

$$\frac{A}{\alpha} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \tag{14}$$

Devido ao fato do gradiente $\frac{\partial T}{\partial r}$ não ser mais dependente do tempo, a equação (14) torna-se:

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = \frac{A}{\alpha} \tag{15}$$

e sua solução, resulta:

$$T = \frac{A r^2}{4 \alpha} + C_1 \ln(r) + C_2 \tag{16}$$

As condições de contorno, à serem aplicadas à eq.(16), são:

$$\begin{aligned} T &= T_R \quad (t > 0, r = R) \\ \frac{dT}{dr} &= 0 \quad (t > 0, r = 0) \end{aligned}$$

o que conduz a:

$$T_R - T = \frac{A}{4\alpha} (R^2 - r^2) \quad (17)$$

Tomando $r = 0$ no centro da amostra, temos:

$$T_R - T_0 = \frac{A}{4\alpha} R^2 \quad (18)$$

portanto, tem-se a solução:

$$\alpha = \frac{AR^2}{4(T_R - T_0)} \quad (19)$$

onde:

$\alpha \Rightarrow$ difusividade Térmica (m^2/s)

$A \Rightarrow$ taxa constante de aquecimento em todos os pontos do cilindro ($^{\circ}C/s$)

$R \Rightarrow$ raio do cilindro (m)

$T_R \Rightarrow$ temperatura na superfície do cilindro de raio R ($^{\circ}C$)

$T_0 \Rightarrow$ temperatura no centro do cilindro ($^{\circ}C$)

A equação (19) permite-nos a determinação da difusividade térmica.

A condição de aquecimento à taxa constante em todos os pontos do cilindro limita-se a tempos longos (DICKERSON, 1965). Analisando a solução completa da equação (11), esta se aproxima a equação (19), quando:

$$\frac{\alpha t}{R^2} > 0,55$$

Os dados úteis fornecidos pelo equipamento, podem ser obtidos em menos de 2 horas do começo do teste.

O mesmo autor recomenda o uso deste aparelho, figura (8), para medir difusividade térmica de alimentos com precisão de aproximadamente 5%.

2.2.5. CALOR ESPECÍFICO

O calor específico é uma propriedade termofísica definida como a quantidade de calor necessário para mudar a temperatura de uma unidade de massa em um grau.

$$C_p = \frac{Q}{m \Delta T} \quad (20)$$

onde:

$C_p \Rightarrow$ calor específico (kJ/kg°C)

$Q \Rightarrow$ quantidade de calor (J)

$m \Rightarrow$ massa (kg)

$\Delta T \Rightarrow$ variação de temperatura (°C)

MOHSENIN (1980) apresentou uma revisão completa sobre a determinação (medidas experimentais e predição) de propriedades térmicas de alimentos.

SIEBEL (citado por CHOI & OKOS, 1986) desenvolveu uma equação para o cálculo do calor específico de produtos alimentícios com alto conteúdo de água. A equação empírica para a determinação, é a seguinte:

$$C_p = 0,837 + 3,349 X_w \Rightarrow (\text{para temperaturas acima do ponto de congelamento}) \quad (21)$$

DICKERSON (citado por CHOI & OKOS, 1986) apresentou a seguinte expressão que tem sido usada consideravelmente para produtos alimentícios com alto conteúdo de umidade.

$$C_p = 1,675 + 2,152 X_w \quad (22)$$

Essa expressão tem sido aplicada para sucos de frutas que possui conteúdo de água acima de 50%.

LAMB (1976 citado por CHOI & OKOS, 1986) sugeriu que uma aproximação razoável para o cálculo do calor específico de gêneros alimentícios acima do ponto de congelamento foi dada por:

$$C_p = 1,465 + 2,721 X_w \quad (23)$$

onde:

$C_p \Rightarrow$ calor específico (kJ/kg°C)

$X_w \Rightarrow$ conteúdo de água no alimento

As equações (21, 22 e 23) são recomendadas para cálculo do calor específico, somente quando os dados são escassos.

CHOI & OKOS (citado por SWEAT, 1986) desenvolveram uma expressão (equação 24) para estimar o calor específico de produtos alimentícios como uma função da água, proteína, gordura, carboidrato e do conteúdo de cinza.

$$C_p = 4,180 X_w + 1,711 X_p + 1,928 X_f + 1,547 X_c + 0,908 X_a \quad (24)$$

Essa equação é mais precisa devido à composição química do alimento ser considerada.

CHOI & OKOS (1986) desenvolveram modelos matemáticos gerais para calcular o calor específico de produtos alimentícios baseados em dados da literatura na faixa de 20 a 100°C. Os valores dos calores específicos (C_{p_i}) de cada componente puro podem ser calculados como uma função linear da temperatura e estão apresentados na tabela (11).

O modelo geral tem a seguinte forma:

$$C_p = \sum (C_{p_i} X_i) \quad (25)$$

onde:

$C_{p_i} \Rightarrow$ calor específico do componente

$X_i \Rightarrow$ fração mássica do componente

Tabela 11: Modelo de calor específico de componentes puros para alimentos líquidos na faixa de temperatura de 20 a 100°C

Propriedade Térmica	Modelos para Componentes Puros
C_p (kJ/kg°C)	$C_{pw} = 4.1598 + 4.2091 \times 10^{-4} T$
	$C_{pp} = 1.6519 + 3.5790 \times 10^{-3} T$
	$C_{pf} = 1.8707 + 2.7594 \times 10^{-3} T$
	$C_{pc} = 1.8608 + 2.4311 \times 10^{-3} T$
	$C_{pa} = 8.7567 \times 10^{-1} + 2.0059 \times 10^{-3} T$

Fonte : CHOI & OKOS (1986)

onde:

Os subscritos **w**, **p**, **f**, **c**, e **a** são respectivamente: água, proteína, gordura, carboidrato e conteúdo de cinza.

2.2.6. MÉTODOS DE MEDIDA PARA CALOR ESPECÍFICO

Para a determinação experimental do calor específico, pode ser empregado o método das misturas ou o método de calorimetria diferencial de varredura (DSC).

2.2.6.1. MÉTODO DAS MISTURAS

Nesse método a amostra com massa e temperatura conhecidas é colocada em um calorímetro de calor específico conhecido contendo água com temperatura e massa conhecidas. O calor específico da amostra é então calculado através da equação de balanço de calor entre o calor ganho ou perdido pela água e o calorímetro e aquele perdido ou absorvido pela amostra. O calor específico da amostra pode ser calculado através da seguinte equação de balanço de calor:

$$C_s = (C_w W_w (T_e - T_w) - C_c W_c (T_i - T_e)) / W_s (T_i - T_e) \tag{26}$$

onde:

$C_s \Rightarrow$ calor específico da amostra (kJ/kg°C)

$C_w \Rightarrow$ calor específico da água (kJ/kg°C)

$W_w \Rightarrow$ peso da água adicionada (kg)

$T_e \Rightarrow$ temperatura de equilíbrio (°C)

$T_w \Rightarrow$ temperatura inicial da água (°C)

$C_c \Rightarrow$ calor específico do calorímetro (kJ/kg°C)

$W_c \Rightarrow$ peso do calorímetro (kg)

$T_i \Rightarrow$ temperatura inicial da amostra e do calorímetro (°C)

$W_s \Rightarrow$ peso da amostra (kg)

2.2.6.2. CALORÍMETRO DIFERENCIAL DE VARREDURA (DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY - DSC)

O método de calorimetria diferencial de varredura é muito avançado, altamente sofisticado e tem sido largamente empregado (WANG & KOLBE, 1991; WANG & BRENNAN, 1993; SÁ et al., 1994) para medir o calor específico de amostras alimentícias.

A quantidade de energia necessária para mudar a temperatura da amostra é comparada com a energia necessária para mudar a temperatura de um material de referência, a uma mesma taxa de aquecimento (figura 3).

A técnica do DSC é direta, relativamente rápida e requer apenas algumas miligramas de amostra.

O instrumento tem a capacidade de medir efeitos térmicos muito pequenos, produzidos durante processos térmicos.

No entanto, o equipamento apresenta algumas desvantagens como o seu alto custo, cuidados específicos na preparação da amostra, dificuldades na obtenção de amostras homogêneas, fato este, devido o equipamento trabalhar com quantidade de amostras muito pequenas e pode apenas ser operado em laboratório por um técnico especializado.

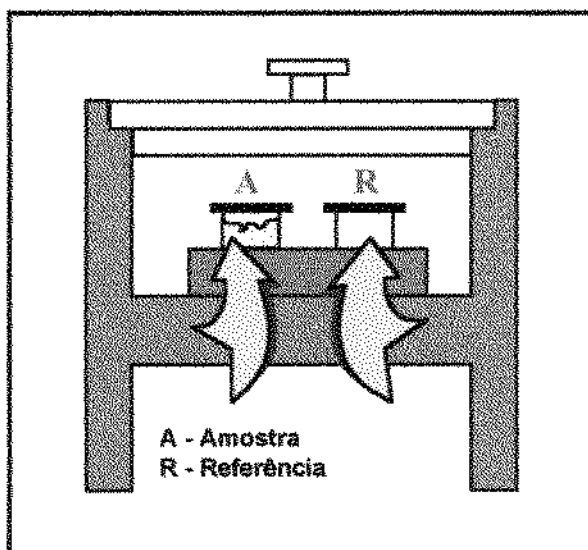


Figura 03 -Esquema interno referente a cápsula contendo amostra e cápsula de referência (vazia)

Fonte : MANUAL DO EQUIPAMENTO DSC

2.3. REOLOGIA

É a ciência que estuda as propriedades mecânicas dos gases, líquidos e sólidos. O campo da reologia estende-se desde a mecânica de fluidos Newtonianos até a elasticidade de Hooke e a região que compreende este campo é a deformação e o fluxo de todos os materiais pastosos e suspensões (BIRD et al., 1960).

Denomina-se reologia o estudo da deformação e escoamento de materiais, devido a forças nele aplicadas.

O conhecimento das propriedades reológicas de produtos alimentícios são essenciais para o projeto de equipamentos (bombas, tubulações, trocadores de calor, evaporadores, esterilizadores, filtros, misturadores e homogeneizadores), avaliação de processos, controle de qualidade, compreensão de estrutura e correlação com a avaliação sensorial (SARAVACOS, 1970; RAO, 1977; JIMÉNEZ & DURÁN, 1979; RAO et al., 1984; RAO, 1986; ALVARADO & ROMERO, 1989).

Inúmeros fatores podem influenciar as propriedades reológicas de produtos alimentícios como: variedade, grau de maturação, métodos de processamento, composição, temperatura, hipótese analítica, técnica instrumental e métodos analíticos. STEFFE et al. (1986)

2.3.1. MODELOS REOLÓGICOS

A viscosidade de um fluido alimentício depende de sua temperatura e composição e pode também depender da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento, da duração de cisalhamento, bem como do histórico anterior de cisalhamento (RAO, 1977). A figura (4) apresenta a classificação geral do comportamento reológico.

Os fluidos podem ser classificados como Newtonianos ou não-Newtonianos.

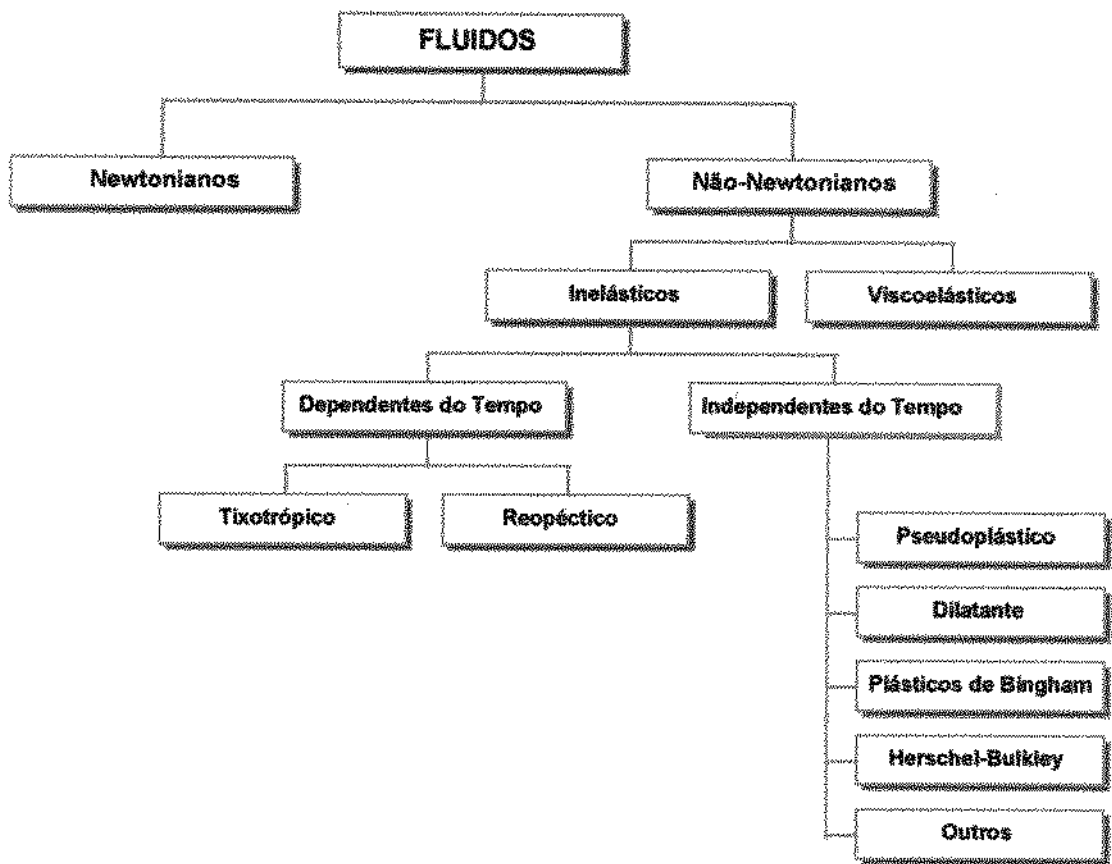


Figura 04 - Classificação Geral do Comportamento Reológico

A) FLUIDOS NEWTONIANOS

Estes fluidos são caracterizados por serem líquidos de baixa viscosidade, como exemplo: água, leite, sucos de frutas clarificados, soluções de sacarose, chá, café, cerveja, vinho, etc (RAO, 1977; HOLDSWORTH, 1993). A viscosidade para estes fluidos é constante com a taxa de deformação.

As propriedades reológicas de fluidos Newtonianos são independentes da taxa de deformação e do histórico anterior de cisalhamento, dependendo somente da composição e temperatura.

Fluidos Newtonianos apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, com coeficiente linear igual a zero. A equação matemática que descreve seu comportamento é dada por:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (27)$$

onde:

$\tau \Rightarrow$ tensão de cisalhamento ($\text{N/m}^2 = \text{Pa}$)

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

$\eta \Rightarrow$ viscosidade absoluta (Pa.s)

B) FLUIDOS NÃO-NEWTONIANOS

Todos os fluidos que não seguem o comportamento Newtoniano são chamados de fluidos não-Newtonianos e classificados em duas categorias: dependentes do tempo ou independentes do tempo (RAO, 1977; RAO, 1986).

$\Rightarrow$ FLUIDOS NÃO-NEWTONIANOS DEPENDENTES DO TEMPO

Estes fluidos com propriedades dependentes do tempo são subdivididos em duas categorias, à temperatura e taxa de deformação constantes; se a viscosidade aparente diminui em função do tempo de cisalhamento, o fluido é denominado **tixotrópico**; entretanto, se a viscosidade aparente aumenta com o tempo de cisalhamento, o fluido é denominado **reopéctico** (RAO, 1977). Comportamento tixotrópico foi observado em leite condensado, maionese, clara de ovo, creme de maçã (HOLDSWORTH, 1993); entretanto comportamento reopéctico não é muito comum em alimentos. Os fenômenos de mudança de estrutura no tempo podem ser irreversíveis, reversíveis ou parcialmente reversíveis, mas o termo de tixotropia ou reopeticidade se reserva para as mudanças reversíveis.

A figura (5) mostra o comportamento característico para estes fluidos não-Newtonianos dependentes do tempo.

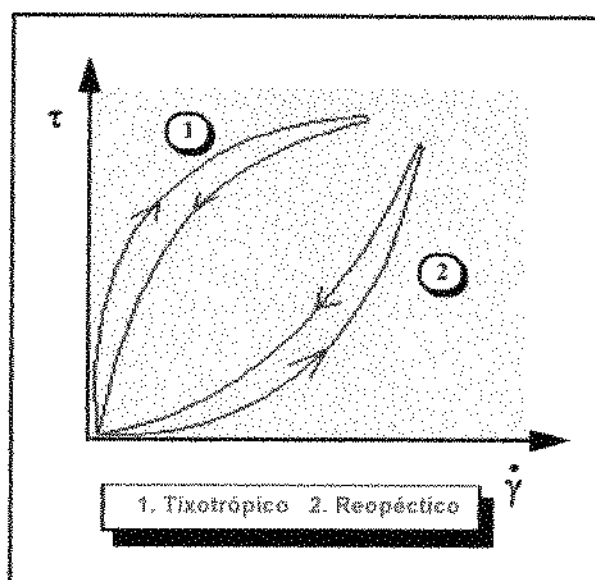


Figura 05: Comportamento de fluidos com propriedades dependentes do tempo

Fonte: FORMAGGIO, 1982

⇒ FLUIDOS NÃO-NEWTONIANOS INDEPENDENTES DO TEMPO

Fluidos não-Newtonianos independentes do tempo, à temperatura e composição constantes, a viscosidade aparente (η_a) depende somente da tensão de cisalhamento ou da taxa de deformação. Se a viscosidade aparente (η_a) diminui com o aumento da taxa de deformação, o comportamento do fluido é denominado pseudoplástico; se a viscosidade aparente (η_a) aumenta com a taxa de deformação o comportamento do fluido é denominado dilatante (RAO, 1977; RAO, 1986).

A figura (6) demonstra uma descrição gráfica do comportamento reológico para fluidos Newtonianos e não-Newtonianos independentes do tempo.

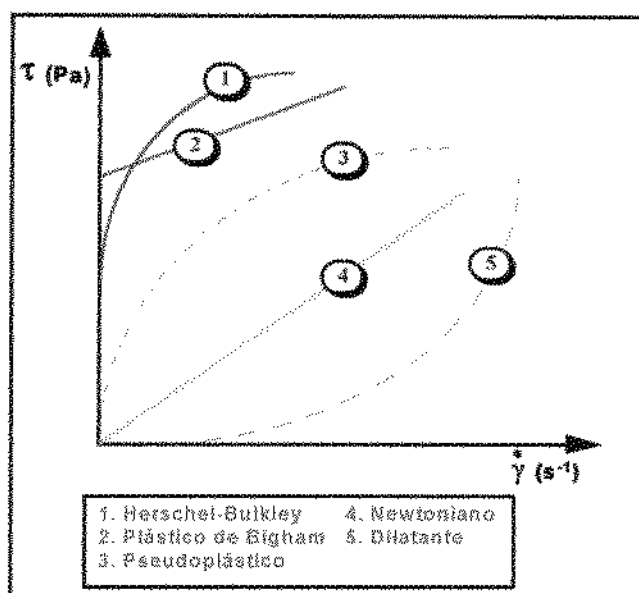


Figura 06 - Modelos típicos para fluidos Newtonianos e não-Newtonianos (independentes do tempo) para fins comparativos

Fonte : STEFFE (1992)

Modelos reológicos para comportamentos independentes do tempo

• MODELO: LEI DA POTÊNCIA

$$\tau = K_{LP} (\dot{\gamma})^n \quad (28)$$

onde:

$\tau \Rightarrow$ tensão de cisalhamento ($N/m^2 = Pa$)

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

$K_{LP} \Rightarrow$ índice de consistência ($Pa.s^n$)

$n \Rightarrow$ índice de comportamento de fluxo (adimensional)

Também conhecido como modelo de Ostwald-de Waele-Nutting, são comumente utilizados para descrever o comportamento de alimentos (incluídos os pseudoplásticos), em faixas amplas de taxa de cisalhamento.

Para fluidos pseudoplásticos, o índice de comportamento de fluxo (n) é menor que a unidade; e quanto menor o seu valor mais intenso é o comportamento pseudoplástico (RAO, 1977). O valor (n) diminui com o aumento do teor de sólidos e usualmente é pouco afetado pela variação da temperatura. O valor de índice de consistência (K) aumenta com o aumento do teor de sólidos e também varia com a temperatura (HOLDSWORTH, 1971).

Os fluidos pseudoplásticos exibem um comportamento de fluxo que é caracterizado pela diminuição da sua viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, como pode ser observado através da figura (6).

• MODELO: HERSCHEL- BULKLEY

$$\tau = \tau_{0\text{H-B}} + K_{\text{H-B}} (\dot{\gamma})^n \quad (29)$$

onde:

$\tau \Rightarrow$ tensão de cisalhamento ($\text{N/m}^2 = \text{Pa}$)

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

$\tau_{0\text{H-B}} \Rightarrow$ tensão inicial ($\text{N/m}^2 = \text{Pa}$)

$K_{\text{H-B}} \Rightarrow$ índice de consistência (Pa.s^n)

$n \Rightarrow$ índice de comportamento de fluxo (adimensional)

Este modelo é apropriado para muitos alimentos fluidos sendo também muito útil, porque comportamentos do tipo Newtoniano, Lei da potência (pseudoplástico ou dilatante) e plástico de Bingham podem ser considerados como casos particulares da equação (29), tendo como principal característica a presença do termo tensão inicial τ_0 (STEFFE, 1992). A tabela (12) mostra os modelos com seus respectivos K , n , τ_0 , e exemplos típicos.

Tabela 12 : Fluidos Newtonianos, Lei da Potência e plástico de Bingham como casos especiais do modelo de Herschel-Bulkley

Fluido	K	n	τ_0	Exemplos típicos
Herschel-Bulkley	> 0	$0 < n < \infty$	> 0	Pasta de peixe picado, sucos concentrados de manga, goiaba, purê de tomate concentrado, etc
Newtoniano	> 0	1	0	Água, sucos de frutas clarificados e despectinizados, leite, mel, óleo vegetal
Pseudoplástico	> 0	$0 < n < 1$	0	creme de maçã, purê de banana, suco de laranja concentrado
Dilatante	> 0	$1 < n < \infty$	0	alguns tipos de mel
Plástico de Bingham	> 0	1	> 0	pasta de dente

Fonte : Adaptada de (STEFFE, 1992)

• **MODELO: CASSON**

$$\tau^{0.5} = K_{OC} + K_C (\dot{\gamma})^{0.5} \tag{30}$$

onde:

- $\tau \Rightarrow$ tensão de cisalhamento ($N/m^2=Pa$)
- $\dot{\gamma} \Rightarrow$ taxa de deformação (s^{-1})
- $(K_C)^2 \Rightarrow$ viscosidade plástica de Casson ($Pa.s^n$)
- $(K_{OC})^2 \Rightarrow$ tensão inicial de Casson (Pa)

O modelo de Casson foi adotado como o método oficial para interpretar o comportamento reológico de chocolate pelo “International Office of Cocoa and Chocolate”. Dois parâmetros são frequentemente discutidos: a viscosidade plástica de Casson, $\eta_{CA} = (K_C)^2$ e a tensão inicial de Casson, $\tau_{CA} = (K_{OC})^2$ (RAO, 1986).

Mais tarde, MIZRAHI & BERK (citado por RAO, 1986) modificaram o modelo reológico de Casson para descrever o comportamento reológico de suco de laranja concentrado. O desenvolvimento foi baseado no modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico. A equação desenvolvida foi:

$$\tau^{0.5} = K_{OM} + K_M (\dot{\gamma})^n \quad (31)$$

onde:

- $\tau \Rightarrow$ tensão de cisalhamento (Pa)
- $K_{OM} \Rightarrow$ raiz quadrada da tensão inicial (Pa)
- $K_M \Rightarrow$ índice de consistência (Pa.sⁿ)
- $\dot{\gamma} \Rightarrow$ taxa de deformação (s⁻¹)
- $n \Rightarrow$ índice de comportamento de fluxo (adimensional)

Estes mesmos autores detectaram que K_{OM} foi afetado pela concentração de partículas suspensas e a concentração de pectinas solúveis; e K_M e n_M foram determinadas principalmente pelas propriedades do solvente.

FLUIDOS NÃO-NEWTONIANOS VISCOELÁSTICOS

Estes fluidos possuem tanto propriedades viscosas (escoamento) como elásticas (armazenamento de energia), exemplos são: massas, queijos, frutas e vegetais, maionese, gel alimentício, gomas, etc (RAO, 1977; RAO, 1986; HOLDSWORTH, 1993).

2.3.2. REOLOGIA DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS

Uma completa revisão bibliográfica de propriedades reológicas de sucos e purês foi realizada por (SUNDFELD, 1994). Podem ser encontrados ainda, dados sobre propriedades reológicas de produtos derivados de frutas e produtos vegetais, numa compilação realizada por (STEFFE et al., 1986) e por (JIMÉNEZ & DURÁN, 1979), conforme as tabelas (13 e 14), respectivamente sumarizadas.

HOLDSWORTH (1993) apresentou uma descrição de alguns modelos matemáticos que têm sido usados para caracterizar as propriedades de fluxo de produtos alimentícios e um excelente sumário em forma tabular.

Tabela 13 : Propriedades reológicas de frutas e produtos vegetais

Produto	Sólidos totais (%)	Temp. (°C)	n (-)	k (Pa.s ⁿ)	τ_0 (Pa)	Taxa de deformação (s ⁻¹)
Maçã (polpa)	-	25,0	0,084	65,03	-	-
Damasco (purê)	17,7	26,6	0,29	5,4	-	-
Banana (purê)	-	23,8	0,458	6,5	-	-
Cenoura (purê)	-	25,0	0,228	24,16	-	-
Feijão verde (purê)	-	25,0	0,246	16,91	-	-
Goiaba (purê, 10,3°Brix)	-	23,4	0,494	38,98	-	15-400
Manga (purê, 9,3°Brix)	-	24,2	0,334	20,58	-	15-1000
Suco de laranja (42,5°Brix)	-	15,0	0,602	5,973	-	0-500
Abacaxi de vez (40,3°Brix)	-	15,0	0,587	5,887	-	0-500
Mamão (purê, 7,3°Brix)	-	26,0	0,528	9,09	-	20-450
Pêssego (purê)	10,9	26,6	0,44	0,94	-	-
Pêra (purê)	15,2	26,6	0,35	4,25	-	-
Ameixa (purê)	14,0	30,0	0,34	2,2	-	5-50
Tomate (suco conc.)	5,8	32,2	0,59	0,223	-	500-800
Ketchup	-	25,0	0,27	18,7	32,0	10-560

Fonte : STEFFE et al. (1986)

BRANCO (1995) estudou o comportamento reológico de suco de laranja concentrado (55,0; 60,0 e 64,2°Brix) a baixas temperaturas (-23,0 a 20,6°C), utilizando um reômetro de cilindros concêntricos tipo Searle, marca Rheotest 2.1. O equipamento possui um dispositivo que permite a variação da velocidade de rotação do cilindro interno de 0,028 a 243,0 rpm. O modelo de Mizrahi-Berk foi o que melhor ajustou os dados estatisticamente.

Tabela 14: Comportamento e propriedades reológicas de produtos derivados de frutas e de tomate

Produto	Concentração ^a (°Brix)	Temp. (°C)	Propriedades reológicas			C.R. ^b	Viscosímetro ^c
			μ (cP)	k $\left(\frac{\text{dina.s}^n}{\text{cm}^2}\right)$	n (-)		
Suco de tomate	-	25,0	-	36,0	0,36	P	B-LV
Purê de damasco	13,8	27,0	-	72,0	0,41	P	C
Suco de laranja (°B)	30,0	30,0	-	-	0,85	P	Rh-15
Purê de banana	-	22,0	-	68,9	0,46	P	C
Purê de ameixa	14,0	30,0	-	22,0	0,34	P	B-RVT
Purê de goiaba (°B)	10,3	23,4	-	48,63	0,49	P	C
Purê de manga (°B)	9,3	24,2	-	23,6	0,33	P	C
Suco de maçã (°B)	30,0	30,0	-	-	1,00	N	Rh-15
Purê de pêssego	17,0	26,5	-	13,8	0,55	P	CC
Suco de mamão (°B)	7,3	26,0	-	10,1	0,53	P	C
Purê de pêra	15,3	26,5	-	42,5	0,35	P	CC
Suco de abacaxi (°B)	14,5	22,0	40,3	-	-	N	B-LVF
Suco de uva (°B)	64,0	20,0	-	-	0,90	P	Rh-15

Fonte : Jiménez & Durán (1979)

- a) **Concentração:** expressa em sólidos totais ou em °Brix.
- b) **Caracterização reológica:** N, Newtoniano; P, pseudoplástico.
- c) **Viscosímetro empregado:** B-LV, Brookfield LV; B-LVF, Brookfield LVF; B-RVT, Brookfield RVT; C, tubo capilar; CC, cilindros concêntricos; Rh-15, Rheomat-15.

GEHRKE (1996) determinou a reometria de sucos concentrados comerciais de cajú, laranja, limão e maracujá com concentrações de 35 a 65°Brix e faixas de temperaturas de 50 a 80°C, utilizando 2 reômetros: um de marca Haake Rotovisco (usando o sistema de medida de placas paralelas) e outro de marca Contraves Rheomat 115 de cilindros concêntricos (usando 2 sistemas de medida: MS-DIN 145 - tipo Searle e MS-DIN 1075 - "double gap"). Os sucos de frutas apresentaram comportamento pseudoplástico para todas as concentrações e temperaturas estudadas.

SARAVACOS (1970) utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos Contraves Rheomat 15, observou comportamento Newtoniano em suco de maçã clarificado (despectinizado, filtrado) na faixa de temperatura de 20 a 70°C em concentrações de (15,0; 30,0; 50,0 e 75°Brix); suco de maçã turvo (não despectinizado, filtrado) nas mesmas faixas de temperaturas e concentrações (10,5; 30,0 e 40°Brix), apresentou comportamento Newtoniano, mas a concentrações mais elevadas (50 e 65,5°Brix), comportou-se como um fluido pseudoplástico com índice de comportamento de fluxo (n) 0,85 e 0,65 respectivamente.

RAO et al. (1984) utilizaram um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake RV2, para o estudo do comportamento reológico de sucos comerciais de maçã (despectinizados e filtrados), com concentrações de 41,0; 45,1; 50,4; 55,2; 60,1; 64,9; 68,3; 69,5; 73,0 e 73,5°Brix com faixa de temperatura de -5 a 40°C. Todos os sucos exibiram comportamento Newtoniano a todas as temperaturas estudadas. O modelo de ajuste da Lei da Potência apresentou índice de comportamento de fluxo próximo de 1,0.

IBARZ et al. (1989) empregaram um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake Rotovisco RV 12, encontraram que para sucos de pêra (despectinizados, filtrados), na faixa de 40 - 71°Brix e temperaturas de 5 - 60°C, o comportamento reológico foi Newtoniano.

RAO & PALOMINO (1974) estudaram as propriedades de fluxo de purês de frutas tropicais como: banana, manga, goiaba e mamão, utilizando um viscosímetro de tubo capilar. Concluíram que a natureza não-Newtoniana dos purês foi claramente evidenciada, comportando-se como fluidos pseudoplásticos. Em adição, na faixa de taxa

de deformação empregada, os dados obedeceram a relação da Lei da Potência. As grandezas de K e n para cada purê são sumarizadas na tabela (15). Observando-se o valor de n, nota-se que o grau de pseudoplasticidade segue a ordem: mamão, goiaba, manga e banana.

Tabela 15: Parâmetros reológicos e outros dados dos purês de frutas

Fruta	°Brix	Temperatura (°C)	n (-)	K (dynas.s ⁿ /cm ²)
Banana	17,7	22,0 ± 1	0,283	123,30
Goiaba	10,3	23,4 ± 1	0,494	43,63
Manga	9,3	24,2 ± 1	0,334	23,56
Mamão	7,3	26,0 ± 1	0,528	10,12

Fonte : RAO & PALOMINO (1974)

SARAVACOS (1968) empregou um viscosímetro de tubo pressurizado no estudo de suco de uvas Concord comercial clarificado com teor de sólidos solúveis na faixa de 15 a 64°Brix, temperatura de 27°C, e taxa de deformação de 30 a 200 s⁻¹. O comportamento reológico encontrado foi Newtoniano exceto a altas concentrações, onde o índice de comportamento de fluxo foi consistentemente menor que 1,0 (variou na faixa de 0,90 a 0,94). A viscosidade aparente aumentou continuamente com o aumento do teor de sólidos solúveis.

Este mesmo autor (SARAVACOS, 1970) estudou o suco concentrado comercial de uva Concord a temperaturas entre 20 e 70°C utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos Contraves Rheomat 15 operando entre 5,6 e 352 rpm. Os resultados mostraram que abaixo de 55°Brix, o suco comportou-se como um fluido Newtoniano. O suco de uva continha alguns sólidos em suspensão (principalmente pectinas e tartaratos) que fez do concentrado a 64°Brix levemente pseudoplástico (n = 0,90).

Medidas reológicas foram realizadas em um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake Rotovisko RV 12 para o estudo de suco de pêssego, na faixa de sólidos solúveis de 40 - 69°Brix e temperaturas entre 5 - 60°C. O comportamento reológico de purificação e despectinação mostrou-se como fluido Newtoniano (IBARZ et al., 1992a).

RAO et al. (1984) utilizaram um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake RV2, para o estudo do comportamento reológico de sucos comerciais de uva (despectinizados e filtrados) com concentrações de 41,0; 43,1; 49,2; 54,0; 59,2; 64,5; 68,3; 73,5 e 74,5°Brix com faixa de temperatura de -5 a 40°C. Os sucos apresentaram comportamento Newtoniano a todas as temperaturas. O modelo de ajuste da Lei da Potência apresentou índice de comportamento de fluxo próximo de 1,0.

Os mesmos autores (RAO et al., 1984), utilizando o mesmo equipamento, estudaram o comportamento do suco de laranja concentrado (65°Brix) com baixo teor de polpa. Os dados reológicos foram obtidos em temperaturas entre -18,0 a 30°C. O fluido apresentou comportamento pseudoplástico e que o teor de polpa e a distribuição do tamanho da partícula tiveram importante papel no comportamento de fluxo do suco.

O comportamento reológico de suco de groselha-preta (despectinizado, filtrado) foi medido na extensa faixa de temperaturas (5 - 60°C) e concentrações (35 - 64,5°Brix), usando um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake Rotovisko RV 12. O resultado indicou que o suco clarificado comportou-se como um fluido Newtoniano (IBARZ et al., 1992b).

KHALIL et al. (1989) determinaram o comportamento reológico de suco de banana concentrado e clarificado na extensa faixa de temperaturas (30 - 70°C) e concentrações (20 - 79,7°Brix), usando um viscosímetro de cilindros coaxiais (Rheotest-2 VEB MLW). O resultado experimental indicou que o suco de banana clarificado despectinizado e filtrado exibiu comportamento Newtoniano em todas essas concentrações.

Foi determinado o comportamento reológico de suco de laranja (despectinizado, filtrado) na extensa faixa de temperaturas (5 - 70°C) e concentrações (30,7 - 63,5°Brix), usando um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake Rotovisko RV 12. O resultado experimental de (tensão de cisalhamento versus taxa de deformação) indicou que o suco clarificado de laranja comportou-se como fluido Newtoniano (IBARZ et al., 1994).

SARAVACOS (1970) encontrou que o suco de laranja concentrado comercial continha quantidades significantes de polpa em suspensão de vários tamanhos. Os concentrados de 44 e 30°Brix foram pseudoplásticos e seu índice de comportamento de fluxo (n) foram 0,65 e 0,85 respectivamente.

O único trabalho sobre propriedades reológicas de suco de acerola foi realizado por (MATSUURA, 1994), utilizando um reômetro rotacional marca Contraves AG, modelo Epprecht - Rheomat 15, com sistemas de cilindros concêntricos MS-DIN 145. O modelo da Lei da Potência correlacionou os dados nas temperaturas de 15, 25, 50 e 85°C e concentrações de 7,5; 8,5; 12,5 e 16,5°Brix. Os valores para os índices de comportamento de fluxo obtidos foram inferiores a um, determinando para este fluido comportamento reológico pseudoplástico.

2.3.3. EFEITO DA TEMPERATURA NA VISCOSIDADE

Um dos mais importantes aspectos das investigações reológicas é a relação entre os parâmetros viscosidade, temperatura e concentração (HOLDSWORTH, 1993).

Os fluidos alimentícios são submetidos a diferentes temperaturas durante o processamento, armazenamento, transporte, comercialização, pasteurização e consumo. Por esta razão, as propriedades reológicas são estudadas como uma função da temperatura. Em geral, o efeito da temperatura na viscosidade Newtoniana (η) ou na viscosidade aparente (η_a) a uma taxa de deformação específica, pode ser expressa através da equação de Arrhenius (tipo exponencial), como descrita a seguir:

$$\eta = \eta_{\infty} \cdot \exp^{(E_a/RT)} \quad (32)$$

onde:

$\eta \Rightarrow$ coeficiente de viscosidade (Pa.s)

$\eta_{\infty} \Rightarrow$ constante (Pa.s)

$E_a \Rightarrow$ energia de ativação do escoamento (kcal/gmol)

$R \Rightarrow$ constante dos gases (1.987cal/gmol K)

$T \Rightarrow$ temperatura absoluta (K)

Para produtos não-Newtonianos (RAO, 1986; HOLDSWORTH, 1993) a equação ainda é utilizada para expressar o índice de consistência, K , em termos de temperatura como:

$$K = K_0 \cdot \exp^{(E_a / RT)} \quad (33)$$

onde:

$K \Rightarrow$ índice de consistência (Pa.s^n)

$K_0 \Rightarrow$ constante (Pa.s)

$E_a \Rightarrow$ energia de ativação do escoamento (kcal/gmol)

$R \Rightarrow$ constante dos gases (1.987 cal/gmol K)

$T \Rightarrow$ temperatura absoluta (K)

SARAVACOS (1970) estudou o comportamento da viscosidade em vários sucos e purês de frutas como uma função da concentração e da temperatura. Observou-se que a viscosidade de sucos de maçã despectinizados e de uva diminuíram consideravelmente com o aumento da temperatura. Notou-se também que o efeito da temperatura foi mais pronunciado a concentrações mais elevadas; entretanto, a viscosidade aparente de suco de laranja concentrado (a 100 seg^{-1}) diminuiu apenas moderadamente com o aumento da temperatura, presumidamente devido à presença de quantidades consideráveis de polpa em suspensão. A energia de ativação diminuiu significativamente devido à presença de partículas suspensas no produto, como suco turvo e purês de frutas como apresenta a tabela (16). A mais alta energia de ativação foi obtida em suco de maçã clarificado (75°Brix) com o valor de 14,2 kcal/gmol e a mais baixa foi em purê de maçã (11°Brix) com 1,2 kcal/gmol.

KHALIL et al. (1989) relataram que o modelo da lei da Potência descreveu o efeito da temperatura na viscosidade de sucos de banana concentrados (despectinizados) na extensa faixa de temperaturas (30,0; 50,0 e 70°C) e concentrações (20 - 79,7°Brix).

Tabela 16 : Energias de ativação e índice de comportamento de fluxo (n) para fluxo viscoso de sucos e purês de frutas

Produtos	°Brix	Energia de Ativação (kcal/gmol)	(n) (-)
Suco de maçã (despectinizado)	75	14,2	1,0
	50	8,4	1,0
	30	6,3	1,0
	15	5,3	1,0
Suco de maçã (turvo)	65,5	9,1	0,65
	50	6,1	0,85
	40	5,8	1,0
	30	5,1	1,0
	10,5	3,5	1,0
Suco de uva (Concord)	64	11,2	0,9
	50	6,9	1,0
	30	6,2	1,0
	15	5,3	1,0
Suco de laranja	44	5,4	0,65
	30	4,2	0,85
Suco de laranja (filtrado)	18,0	5,8	1,0
	10,0	5,3	1,0
Creme de maçã	11	1,2	0,3
Purê de pêssego	11,7	1,7	0,3
Purê de pêra	16	1,9	0,3

Fonte : SARAVACOS (1970)

BRANCO (1995) estudou o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico para o suco de laranja concentrado (55,0; 60,0 e 64,2°Brix) a baixas temperaturas (-23,0 a 20,6°C). Concluiu que a temperatura apresentou grande influência sobre a tensão inicial e índice de consistência dos modelos de Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk; quanto menor a temperatura maiores foram os valores destes parâmetros em todas as concentrações.

IBARZ et al. (1992b) estudaram o efeito da temperatura na viscosidade em suco clarificado de groselha-preta na extensa faixa de temperatura (5 - 60°C) e concentração (35 - 64,5°Brix). O efeito da temperatura foi descrito pela equação tipo Arrhenius. A energia de ativação para fluxo viscoso aumentou com a concentração de sólidos solúveis na faixa de 4,55 - 10,57 kcal/gmol.

RAO et al. (1981) empregaram um viscosímetro de cilindros concêntricos (Haake RV2 com sistema MVI) no estudo das propriedades de fluxo de concentrados de tomate e relataram que o efeito da temperatura na viscosidade aparente seguiu a relação de Arrhenius; a energia de ativação para o concentrado foi de $2,3 \pm 0,3$ kcal/mol. Os dados foram obtidos em temperaturas entre 15 e 55°C.

IBARZ et al. (1994) determinaram o efeito da temperatura na viscosidade para suco de laranja clarificado na extensa faixa de temperatura (5 - 70°C) e concentrações (30,7 - 63,5°Brix) de acordo com a equação de Arrhenius. Foi encontrado que a energia de ativação para fluxo viscoso foi na faixa de (4,23 - 9,59 kcal/mol), dependendo da concentração.

2.3.4. EFEITO DA CONCENTRAÇÃO NA VISCOSIDADE

A viscosidade de fluidos alimentícios aumentam com a concentração. A variação da viscosidade com o conteúdo de sólidos solúveis pode ser descrita por várias diferentes expressões, sendo estas geralmente do tipo potência ou tipo exponencial, respectivamente (RAO et al., 1984; RAO, 1986; KHALIL et al., 1989; IBARZ et al., 1994):

$$\eta = \eta_1 (C)^{b_1} \quad (34)$$

$$\eta = \eta_2 \exp (b_2.C) \quad (35)$$

onde:

$C \Rightarrow$ concentração de sólidos solúveis (°Brix ou % de sólidos)

η_1 , η_2 , b_1 e $b_2 \Rightarrow$ são constantes características determinadas experimentalmente.

BRANCO (1995) estudou o efeito da concentração sobre os parâmetros reológicos para o suco de laranja concentrado (55,0; 60,0 e 64,2°Brix) a baixas temperaturas (-23,0 a 20,6°C). O parâmetro tensão inicial em função da concentração, para todos os modelos estudados, foi melhor representado pelas equações do tipo exponencial. Os índices de consistências aumentaram com a concentração, mostrando que esta tem uma grande influência sobre este parâmetro. Observou-se ainda que o índice de comportamento do fluido dos modelos de Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk não variou significativamente com a faixa de concentração estudada.

RAO et al. (1981) estudaram as propriedades de fluxo de concentrados de tomate com auxílio de um viscosímetro de cilindros concêntricos. Concluíram que o efeito da concentração na viscosidade aparente seguiu a relação do tipo Potência. O índice de consistência (K) aumentou com o aumento de sólidos totais e que o índice de comportamento de fluxo (n) foi menor que 0,31 para todos os concentrados, comportando-se como fluidos pseudoplásticos.

RAO et al. (1984) encontraram que o efeito da concentração na viscosidade aparente para suco de maçã concentrado, seguiu a relação Exponencial, pois esta obteve um melhor ajuste que a relação tipo Potência, como indicou o alto valor do coeficiente de correlação (r^2) com 0,945 e 0,911, respectivamente.

COSTELL et al. (1982) estudaram a reologia de 12 amostras de purê de damasco, utilizando um viscosímetro rotatório de cilindros concêntricos, Rheomat-15 (Contraves A.G.). Concluíram que 11 dos 12 purês analisados exibiram uma dependência do tempo e que o índice de consistência (K) depende principalmente da porcentagem de polpa e do tamanho médio das partículas suspensas; o valor da tensão inicial (τ_0) depende da porcentagem de polpa, do tamanho médio das partículas, da porcentagem de células rompidas, da acidez e do conteúdo de substâncias pécticas. Afirmaram ainda que quanto maior o tamanho médio das partículas suspensas, menor é o valor de (n) e, portanto, o fluxo do purê é mais pseudoplástico.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATÉRIA - PRIMA

O suco de acerola utilizado neste trabalho, foi gentilmente fornecido pela empresa Companhia de Cítricos do Brasil, proveniente do estado da Bahia, em seu aspecto integral apresentando 8°Brix de teor de sólidos solúveis e de forma refrigerada.

Para o estudo das análises físico-químicas e reológicas, o suco foi imediatamente concentrado no evaporador da planta-piloto do Departamento de Engenharia de Alimentos (FEA), apresentando-se um teor de sólidos solúveis de 21°Brix. Todos os galões foram estocados no freezer do Laboratório de Engenharia de Processos (LEP). Posteriormente, uma amostra deste produto foi concentrada de 21 para 27°Brix no Evaporador Rotavapor-RE

O suco concentrado (21°Brix) foi diluído em água destilada até obter o teor de sólidos solúveis desejados (8,0 e 15°Brix).

Para a caracterização reológica foi utilizado um homogeneizador JANKE e KUNKEL (IKA-WERK) Ultra-Turrax, para as concentrações de 21,0 e 27°Brix, devido à heterogeneidade do material.

3.2. MÉTODOS

Os métodos de análises químicas utilizados neste trabalho, encontram-se detalhados no anexo A.

3.2.1. ANÁLISES QUÍMICAS

1. pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, modelo TE - 902 DIGIMED de marca TECNAL (LARA et al., 1976), nº 4.7.2

2. Acidez Total

A acidez total foi determinada pelo método acidimétrico (HORWITZ, 1980), nº 9.119

3. Sólidos Solúveis (°Brix)

Foi determinado pelo método refratométrico (PEARSON, 1973), p. 58 - 60

4. Teor de sólidos, insolúveis e totais

Foi determinado pelo método Adolfo Lutz (LARA et al., 1976), nº 13.6.5 - 13.6.6

5. Teor de Açúcares Redutores, Não Redutores e Totais

Foi determinado pelo método de Munson & Walker (HORWITZ, 1980), nº 31.037 - 31.039

6. Teor de Fibras

Foi determinado pelo método enzimático (ASP et al. 1983), p. 476 - 482

7. Teor de Cinzas

Foi determinado segundo o método A.O.A.C. (HORWITZ, 1980), nº 11.019

8. Teor de Sólidos Totais e Umidade

Foi determinado pelo método Adolfo Lutz (LARA et al., 1976), nº 13.6.4

9. Proteína Bruta

Foi determinada utilizando-se o método de Kjeldahl (ANGELUCCI, 1982), p. 12 - 13

10. Pectina

Foi determinada segundo a metodologia de Carré e Haynes (PEARSON, 1970), p. 228 - 229

11. Teor de Polpa

O teor de polpa foi determinado utilizando uma centrífuga refrigerada modelo Spin VI de marca Incibrás (REDD et al., 1986). As análises foram realizadas em triplicata para concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix à temperatura de 20°C por 15 minutos a 2000 rpm. Os resultados foram expressos em porcentagem em peso.

3.2.2. ATIVIDADE DE ÁGUA (a_w)

A determinação de atividade de água foi realizada pelo método elétrico (higrômetro eletrônico de marca DECAGON CX-2).

A metodologia usada foi:

- 1- O produto foi homogeneizado e retirado 3 amostras de cada concentração.
- 2- Acondicionou-se as amostras em cápsulas de modo a não ultrapassar a metade do volume das mesmas, identificando-as.
- 3- As leituras foram feitas de modo aleatório, ou seja, não se deve seguir sempre a mesma seqüência de leitura das cápsulas.
- 4- De cada cápsula foram obtidas 3 leituras, no final obtiveram-se 9 leituras de (a_w) para cada amostra do produto em análise.

5- A temperatura do produto foi registrada pelo DECAGON, oscilando entre 24,7 e 25,3°C.

6- Os valores de (a_w) obtidos foram corrigidos pela Equação de Calibração do DECAGON.

Finalmente calculou-se a média aritmética entre os valores finais de cada amostra chegando-se assim ao valor da atividade de água do produto analisado.

3.2.3. DENSIDADE

A densidade foi obtida através da relação peso e volume com a utilização de picnômetros como descrito a seguir:

Os experimentos foram realizados em triplicata para as amostras com 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix de teor de sólidos solúveis à temperatura de 25°C.

Os picnômetros foram devidamente lavados com água destilada e em seguida com acetona, secos em estufa a 50°C por 10 minutos, resfriados em dessecador e posteriormente tarados. Após estas etapas, estes foram calibrados com água destilada, obtendo-se assim o volume do picnômetro, através da equação:

$$V = \frac{m_w}{\rho_w} \quad (36)$$

onde:

$V \Rightarrow$ volume do picnômetro (m^3)

$m_w \Rightarrow$ massa de água (kg)

$\rho_w \Rightarrow$ densidade da água a 25°C (kg/m^3)

Após o procedimento de calibração, os mesmos eram cheios com as respectivas amostras e pesados em balança analítica (Sartorius GMBH Gottingen) com precisão de 0,0001g. A equação utilizada foi:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (37)$$

onde:

$\rho \Rightarrow$ densidade da amostra (kg/m^3)

$m \Rightarrow$ massa da amostra (kg)

$V \Rightarrow$ volume do picnômetro (m^3)

3.2.4. CALOR ESPECÍFICO

Para a determinação do calor específico, foi utilizado um calorímetro conforme mostra a figura (7), constituído por um frasco de Dewar com capacidade de 500ml e tendo como invólucro um cilindro de PVC de pequena espessura.

Foi introduzido um termopar do tipo T (cobre-constantan) na região central da tampa, conectado a um indicador de temperatura (Cole-Parmer, modelo 8536-25), o qual foi calibrado com o auxílio de um termômetro padrão (Incoterm) com precisão de escala de $0,1^\circ\text{C}$ com graduação até 50°C .

Foram estudadas as amostras com teor de sólidos solúveis de 8,0; 15,0 e 21°Brix , estas foram embaladas, termoseladas e imersas em banho termostático por um período de aproximadamente 4 horas, suficiente para atingir o equilíbrio e obtenção da temperatura desejada.

Ao iniciar o experimento, o calorímetro de calor específico previamente determinado era seco e pesado. Em seguida colocava-se quantidade conveniente de água e pesava-se novamente, obtendo-se por diferença a massa de água (m_w). Com o auxílio do termopar media-se a temperatura inicial da água (T_w). A amostra, então, era introduzida no calorímetro e todo o sistema era agitado até atingir a temperatura de equilíbrio (T_e). O experimento foi realizado em triplicata para todas as concentrações.

As embalagens (8 cm x 3,5 cm) foram confeccionadas a partir de um filme flexível composto de poliéster, alumínio e polietileno com medidas de gramatura igual a 66g/m^2 com as bordas termoseladas. Cada embalagem era pesada (m_e) e em seguida introduzia-se a amostra. Após selada a embalagem, pesava-se novamente e obtinha-se a massa da amostra (m_s).

Previamente, calibrou-se o calorímetro (contendo uma embalagem de amostra vazia) determinando a capacidade calorífica do calorímetro (q_c), segundo o procedimento descrito por (KLEEGERG, 1986; HENSE, 1990).

O calorímetro desenvolvido apresentou perdas insignificantes de calor e a equação de calibração usada foi:

$$q_c = W_g H_g + W_w C_w (T_e - T_w) \quad (38)$$

$$q_c = W_g (H + C_w T_e) + W_w C_w (T_e - T_w) \quad (39)$$

onde:

$q_c \Rightarrow$ capacidade calorífica do calorímetro e da embalagem de amostra vazia (kJ)

$W_g \Rightarrow$ peso do gelo (kg)

$H \Rightarrow$ entalpia de fusão do gelo (kJ/kg)

$C_w \Rightarrow$ calor específico da água (kJ/kg°C)

$T_e \Rightarrow$ temperatura de equilíbrio (°C)

$W_w \Rightarrow$ peso da água adicionada (kg)

$T_w \Rightarrow$ temperatura inicial da água (°C)

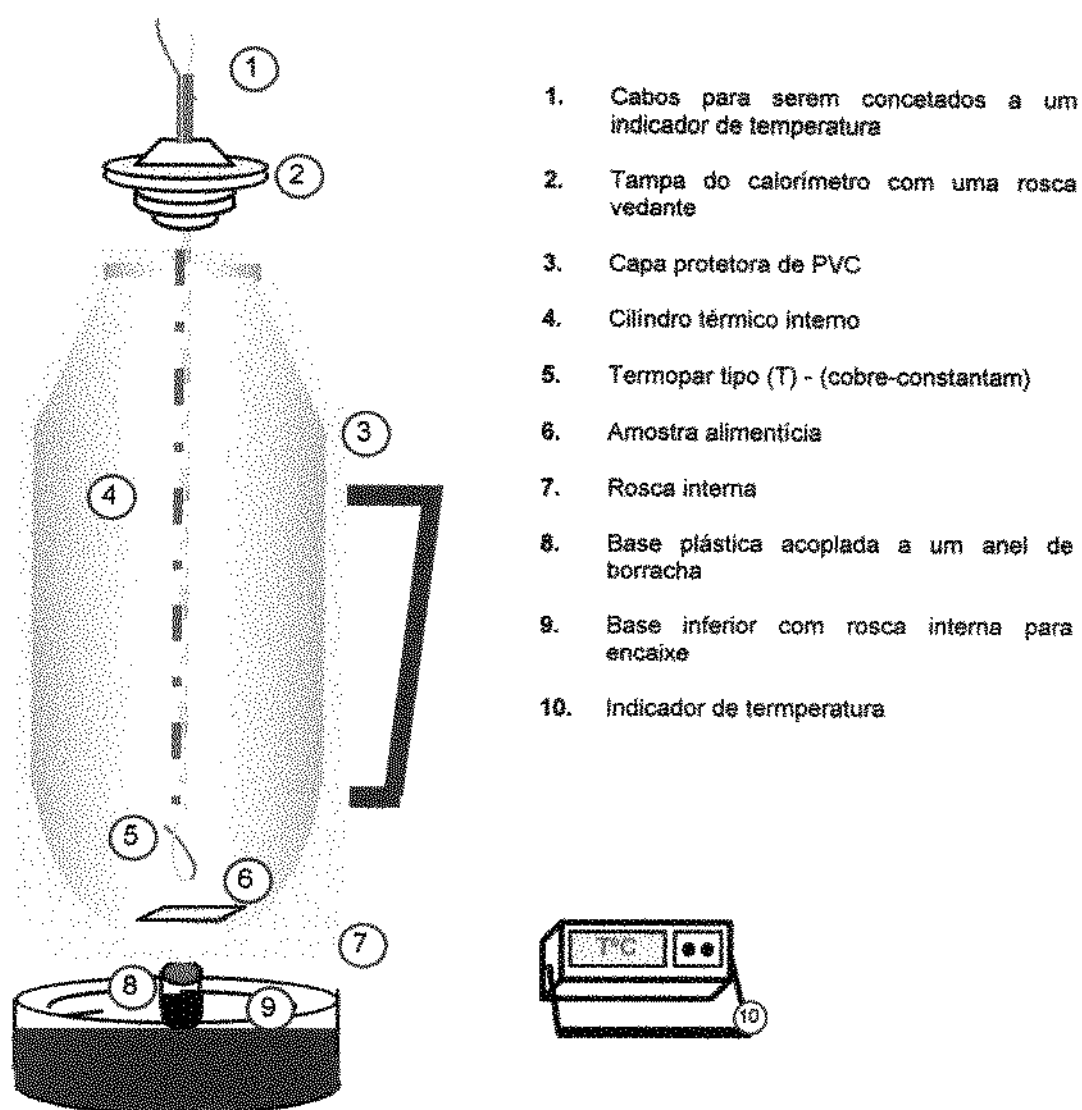


Figura 07 - Esquema do calorímetro de mistura

3.2.5. DETERMINAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA

A difusividade térmica foi determinada usando o método e um equipamento similar ao desenvolvido por DICKERSON (1965).

Descrição do Equipamento e Metodologia para Determinação da Difusividade Térmica

Descrição do Equipamento:

O tubo de difusividade térmica com capacidade de 500ml, consiste de uma cápsula cilíndrica com 0,049 m de diâmetro interno, 0,301 m de comprimento total e de duas tampas externas constituídas de nylon como mostra a figura (8). Devido aos requisitos combinados de elevada condutividade térmica e rigidez, a cápsula cilíndrica é feita de latão cromado.

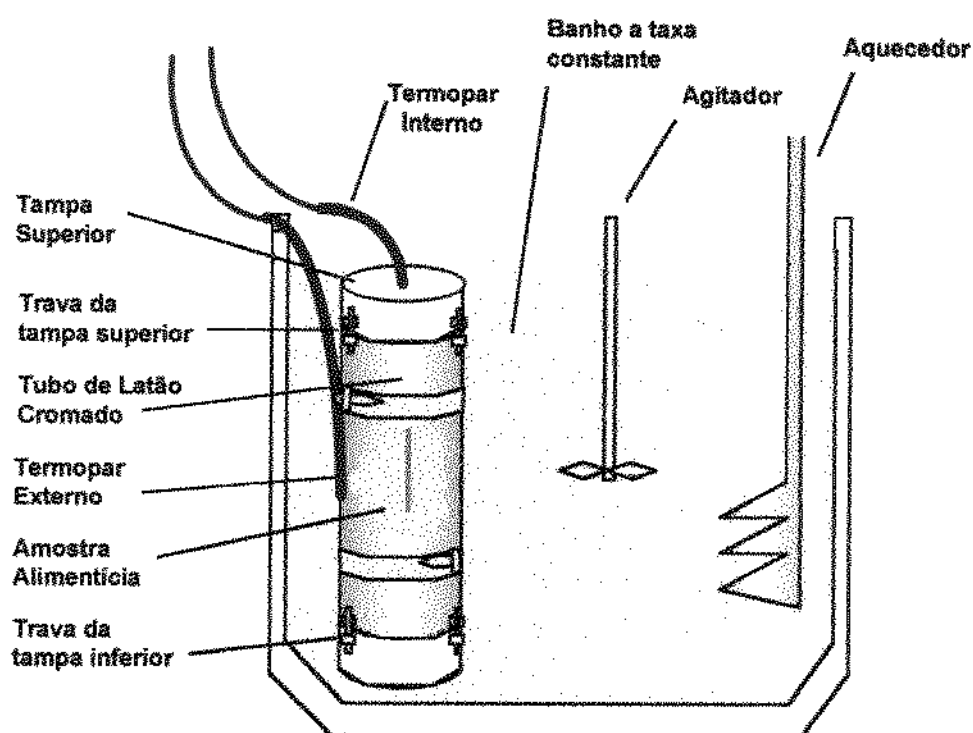


Figura 08 - Aparelho de difusividade térmica

Fonte: DICKERSON (1965)

Um indicador de temperatura (Cole-Parmer, modelo 8536-25) foi acoplado a um termopar soldado na superfície externa do cilindro (T_R) que forneceu a temperatura da amostra na posição de ($r = R$) e uma sonda com termopar no eixo do cilindro (T_0) que indicou a temperatura no centro da amostra na posição de ($r = 0$).

Metodologia:

A montagem experimental do equipamento consistia em encher o tubo com as respectivas amostras (cerca de 450 ml); colocava-se a tampa superior que assegurava um adequado posicionamento radial do termopar central. Em seguida, os termopares eram conectados a um indicador de temperatura, o tubo era imerso e encaixado através de uma garra no banho termostático (Blue m), era ligada a agitação mecânica (Fisatom - modelo 713). Todo o sistema era isolado termicamente e previamente à realização das medidas, este era estabilizado por 20 minutos.

Eram anotadas as leituras no tempo zero para as temperaturas (T_R) e (T_0) e simultaneamente eram ligados o aquecimento e acionado o cronômetro e então iniciava-se o ensaio. As leituras para (T_R) e (T_0) eram tomadas a intervalos de 5 minutos até atingir o final do experimento o que se verificava em 70 minutos.

As medidas foram realizadas em triplicata para concentrações de (8,0; 15,0 e 21°Brix) e temperaturas entre 22,0 a 73°C.

O banho foi aquecido a uma taxa constante de aproximadamente 0,6°C/min, o que satisfazia o requisito de $\frac{\partial T}{\partial t}$ ser constante.

A difusividade térmica foi calculada de acordo com a equação (19), conforme a figura (9), quando se obteve o período de taxa constante de aquecimento, o que se verificou aproximadamente após 40 minutos.

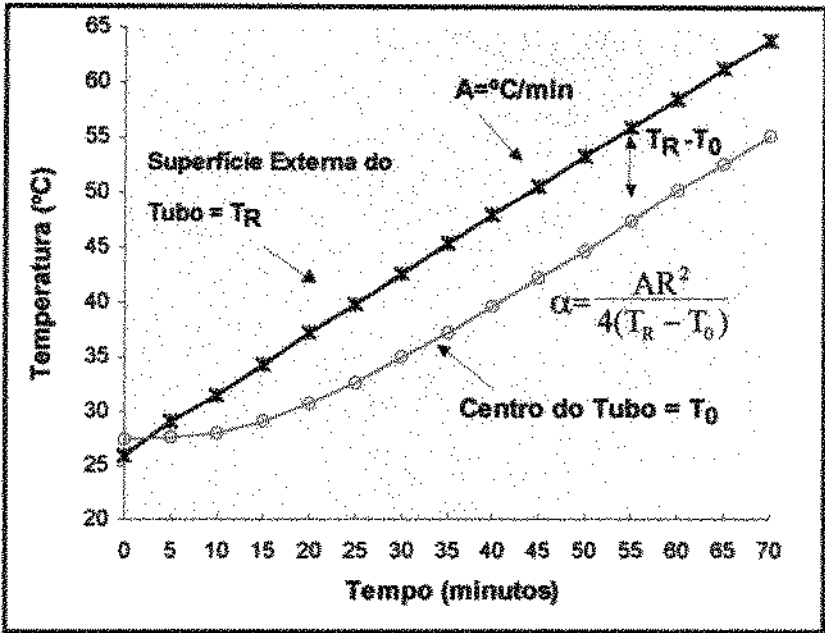


Figura 09 - Teste de difusividade térmica

3.2.6. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade térmica foi determinada através da equação (6), de forma indireta, após serem conhecidas as propriedades: difusividade térmica, densidade e calor específico, sendo estes obtidos experimentalmente.

3.2.7. CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA

Neste trabalho, o comportamento reológico do suco de acerola foi caracterizado utilizando um viscosímetro de rotação da estrutura com sistema de controle de temperatura (com limites entre -60 a 150°C, com câmara de proteção até 300°C), modelo Rheotest 2.1 com banho termostático VH - 4 marca MLW (Vide anexo B para maiores informações sobre o equipamento).

O dispositivo de medição utilizado foi o sistema S com cilindro externo de $R = 0,02$ m e os cilindros internos, S2 com $r_2 = 0,018775$ m, ($R/r_2 = 1,06$) e S3 com $r_3 = 0,016175$ m, ($R/r_3 = 1,24$).

Foram determinadas a tensão de cisalhamento versus a taxa de deformação na faixa de ($0 - 618 \text{ s}^{-1}$) para concentrações de 15,0; 21,0 e 27°Brix e temperaturas de 10,0; 30,0 e 50°C.

A amostra a ser investigada situa-se na fenda anular de um sistema de cilindros concêntricos. A figura (10) ilustra a representação esquemática deste sistema. O cilindro externo estacionário cujo raio é R , forma o recipiente de medição e contém a substancia ensaiada.

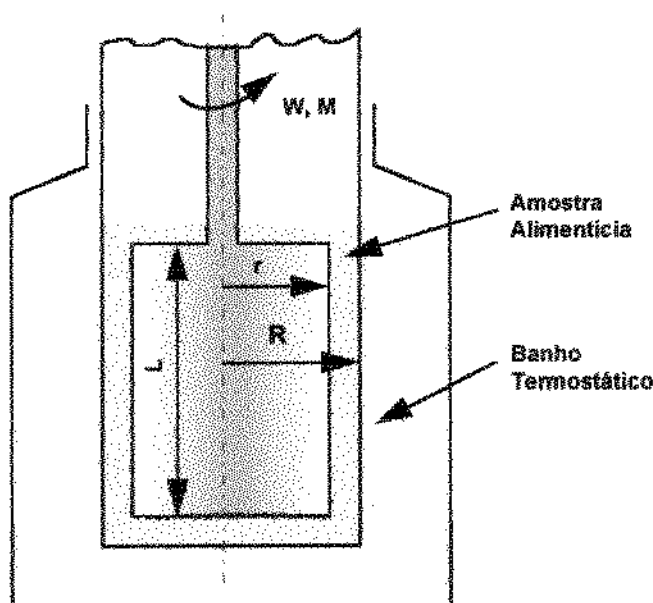


Figura 10 - Sistema de cilindros concêntricos

A metodologia para medição foi iniciada com pequenos valores até o máximo valor do gradiente de cisalhamento, aumentando o número de rotações do cilindro, por meio de ajustes respectivos da engrenagem de mudança a fim de serem obtidos um maior número de pontos de medição (foram tomados 24 pontos intercalados), podendo ainda mudar o número de pólos I ou II, cuja relação é de 1:10 permitindo assim um elevado alcance na medida de tensão de cisalhamento.

Para a caracterização reológica a 8°Brix, nas temperaturas 10,0; 30,0 e 50°C, foi utilizado o reômetro digital Brookfield (modelo DV-III-versão 3.0), usando o “spindle” de código SC4-31 para a série LVDV-III. O equipamento foi acoplado a um microcomputador que possui um programa (Rheocalc) que comanda as operações do processo (vide anexo B para maiores informações sobre o equipamento). Para a temperatura de 10°C foram utilizados apenas 13 pontos experimentais com taxa de deformação na faixa de (0 a 27,31 s⁻¹), devido ao equipamento fornecer apenas leituras de torque de 0,0 a 99,9 %, acima desta escala não foi possível a leitura, mas para as temperaturas de 30,0 e 50°C foram utilizados 24 pontos experimentais com taxa de deformação na faixa de (0 a 51 s⁻¹). Devido à diluição e à presença de partículas em suspensão, não foi possível caracterizar o suco no equipamento Rheotest 2.1.

A taxa de deformação foi corrigida segundo o método de KRIEGER & ELROD (1952), que expressa a taxa de deformação através de uma série convergente. Foram considerados os dois primeiros termos da série:

$$\dot{\gamma}_b = \frac{\Omega}{\ln S} \left[1 + \ln S \frac{d(\ln \Omega)}{d(\ln \tau_b)} \right] \quad (40)$$

$$S = \frac{R_c}{R_b} \quad (41)$$

onde:

$\dot{\gamma}_b \Rightarrow$ taxa de deformação no cilindro (s⁻¹)

$\tau_b \Rightarrow$ tensão de cisalhamento no cilindro (Pa)

$R_c \Rightarrow$ raio do copo (m)

$R_b \Rightarrow$ raio do cilindro (m)

$\Omega \Rightarrow$ velocidade angular de rotação do cilindro (rad.s⁻¹)

3.2.8. MICROFOTOGRAFIAS DAS PARTÍCULAS DO SUCO DE ACEROLA À 8°BRIX

Técnica microscópica usada para observar o aspecto físico da polpa de acerola:

Aparelho empregado:

Microscópio óptico de rotina (Olympus, CBA) com máquina fotográfica de marca PM6. Filme comercial colorido (ASA 100), aumento de 450 vezes.

Procedimento:

Uma pequena quantidade de polpa "*in natura*" foi colocada entre lâmina e lamínula, proveniente de duas amostras com 8°Brix de teor de sólidos solúveis (previamente diluídas e homogeneizadas). A lâmina foi levada e observada ao microscópio sem adição de corantes. Foram tiradas 12 fotos em objetiva de 40.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA A 21°BRIX

Variação na composição química de sucos de frutas pode ser esperada, devido a muitos fatores tais como: tipo de fruta, características gerais, variedade, maturação, local de plantio, tamanho, nível nutritivo da planta, prática agrícola, época de plantio e colheita. Isso poderia explicar a dispersão dos dados, encontrados na bibliografia.

A tabela (17) apresenta os valores obtidos das análises químicas realizadas em triplicata com o suco concentrado a 21°Brix.

Tabela 17 : Caracterização química do suco de acerola a 21°Brix

Composição	Valores Obtidos
Sólidos Solúveis (°Brix)	21,0
pH	3,39
Acidez Total (%)	2,57
Açúcares Redutores (%)	11,68
Açúcares Totais (%)	11,65
Açúcares não-Redutores (%)	-
Sólidos Totais (%)	21,19
Umidade (%) base úmida	78,81
Cinzas (%)	0,92
Proteína Bruta (%)	0,79
Fibras (%)	1,86
Pectina (%)	4,22

Os resultados obtidos estão na faixa dos valores encontrados pelos autores MATSUURA (1994) e OLIVA (1995). A tabela (18) apresenta os valores encontrados por esses autores.

Tabela 18 : Caracterização físico-química do suco de acerola

Determinações	MATSUURA (1994)		OLIVA (1995)
Sólidos Solúveis (°Brix)	7,5	16,5	6,5
pH	3,46	3,46	3,60
Acidez Total (%)	0,87	1,76	1,16
Sólidos Totais (%)	9,63	19,75	-
Açúcares Redutores (%)	3,32	6,25	2,50
Açúcares Totais (%)	4,48	11,50	4,10
Açúcares não-Redutores (%)	1,16	5,25	-
Umidade (%)	-	-	92,34
Cinzas (%)	0,39	0,83	0,36
Proteína Bruta (%)	0,47	0,96	0,40
Fibras (%)	0,49	0,99	-
Pectina (%)	0,59	1,06	-

Teor de polpa

A tabela (19) apresenta os resultados obtidos para os teores de polpa (média de 3 ensaios) com as correspondentes concentrações de sólidos solúveis (°Brix).

Tabela 19 : Concentrações de sólidos solúveis (°Brix) e valores para o teor de polpa

Sólidos Solúveis (°Brix)	Teor de Polpa (%)
8,0	43,83
15,0	78,96
21,0	98,64
27,0	99,76

A figura (11) apresenta o aumento do teor de polpa em função da concentração.

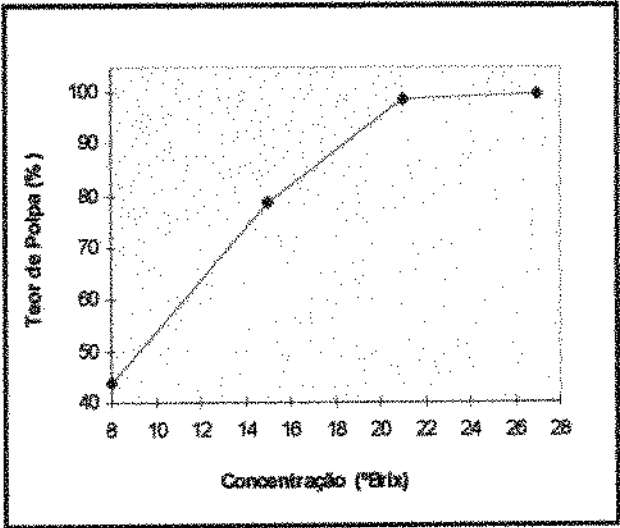


Figura 11 - Efeito do conteúdo de sólidos solúveis (°Brix) em relação ao teor de polpa do suco de acerola

MATSUURA (1994) encontrou valores para os teores de polpa superiores aos obtidos neste trabalho, sendo estes de 67,5 e 94,74% para o suco de acerola integral (7,5°Brix) e para o suco de acerola integral concentrado (16,5°Brix), respectivamente.

4.2. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E DE TRANSPORTE

4.2.1. ATIVIDADE DE ÁGUA

A tabela (20) apresenta os resultados obtidos para atividade de água (média de 9 ensaios) com as correspondentes concentrações de sólidos solúveis (°Brix).

Tabela 20 : Concentrações de sólidos solúveis (°Brix) e valores para atividade de água

Sólidos Solúveis (°Brix)	Atividade de Água
8,0	1,000
15,0	0,992
21,0	0,981
27,0	0,963

Os resultados obtidos encontram-se na mesma faixa que os valores relatados por MILLAN et al. (1993) que encontraram valores médios para a_w de 0,986; 0,981 e 0,982 e teores médios de sólidos solúveis de 11,68; 15,03 e 11,24 para 3 variedades de sucos: maçã, uva e laranja, respectivamente, utilizando um higrômetro de ponto de orvalho DECAGON CX-1.

4.2.2. DENSIDADE

A tabela (21) apresenta os valores obtidos para as densidades (média de 3 determinações) com os seus respectivos teores de sólidos solúveis (°Brix).

Tabela 21 : Concentrações de sólidos solúveis (°Brix) e valores para a densidade à 25°C

Sólidos Solúveis (°Brix)	Densidade (kg/m ³)
8,0	1036,6
15,0	1064,9
21,0	1088,4
27,0	1101,0

A figura (12) apresenta os resultados obtidos das densidades em função das concentrações de sólidos solúveis (°Brix).

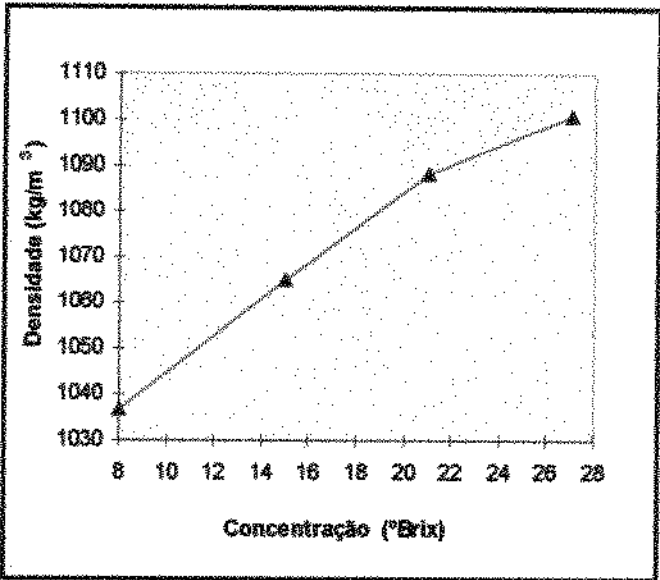


Figura 12 - Efeito do conteúdo de sólidos solúveis na densidade do suco de acerola à 25°C

Pode-se observar que à medida em que a concentração (°Brix) aumenta, o mesmo ocorre para a densidade.

Os resultados obtidos encontram-se em concordância com os valores de vários sucos de fruta, como pode ser verificado através da tabela (22) (ALVARADO & ROMERO, 1989).

Os mesmos autores desenvolveram uma expressão de predição (equação 42) com coeficiente de correlação de 0,995, baseado em 62 observações a 20°C, na faixa de 5 a 30°Brix.

$$\rho = 996 + 4,17 (S) \tag{42}$$

onde:

- $\rho \Rightarrow$ densidade (kg/m³)
- $S \Rightarrow$ conteúdo de sólidos solúveis (°Brix)

Os valores obtidos experimentalmente para as densidades nas concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix, foram próximos aos valores preditos encontrados na equação citada acima, com erro máximo de 0,7%.

Tabela 22 : Valores de densidade de polpa para três temperaturas, assim como os respectivos °Brix e pH para alguns sucos naturais de frutas

Fruta	Densidade de Polpa (kg/m ³)			Suco	
	20°C	30°C	40°C	°Brix	pH
abacaxi	1036	1029	1019	13,9	3,5
ameixa	1003	996	985	13,2	3,2
cereja preta	1064	1051	1045	17,3	4,4
goiaba	1002	994	983	2,6 *	3,6 *
laranja	954	943	928	8,6	3,1
lima	1007	998	981	7,6	4,8
maçã	1025	1022	1009	11,9	3,2
manga	1070	1063	1053	18,3	4,7
maracujá	1066	1063	1055	14,7	2,9
melancia	1018	1013	1006	7,2	5,4
morango	998	992	982	6,7	3,2
nectarina	1018	1012	1000	12,8	3,7
papaya	1016	1006	997	11,1	5,3
pêra	1027	1018	1008	14,8	4,4
pêssego	1034	1028	1017	16,1	3,6
tangerina	990	973	962	9,4	3,8
toronja	1015	1009	996	8,9	3,1
uva	1054	1051	1045	13,9	3,7

Fonte : ALVARADO & ROMERO (1989)

(*) diluído com água destilada

MATSUURA (1994) encontrou valores para as densidades superiores aos obtidos neste trabalho, sendo estes de 1060 e 1110 kg/m³ para o suco de acerola integral (7,5°Brix) e para o suco de acerola integral concentrado (16,5°Brix), respectivamente, isto é corroborado pelos maiores teores de polpa verificados por este autor.

4.2.3. CALOR ESPECÍFICO

Os resultados obtidos para a determinação do calor específico, estão apresentados na tabela (23).

Tabela 23 : Calor Específico (Cp) obtido para o suco de acerola

Concentração (°Brix)	Calor Específico (kJ/kg°C)	
	Temperatura (°C)	
	30	50
8,0	3,35 ± 0,49	5,30 ± 1,04
15,0	3,59 ± 0,76	5,14 ± 1,07
21,0	3,01 ± 0,83	5,37 ± 0,57

Pode-se notar que para a temperatura de 30°C, os resultados obtidos encontram-se na faixa dos valores publicados por ALVARADO (1994), como pode ser verificado no capítulo 2 através da tabela (09), ainda que o erro experimental mascare a variação com a concentração.

A tabela (24) e a figura (13) apresentam os valores de calor específico calculados através de equações empíricas. Pode-se observar que a melhor estimativa dos valores experimentais é dado pela equação de SIEBEL (citado por CHOI & OKOS, 1986) e CHOI & OKOS (1986). Entretanto, pode-se enfatizar que estas equações predizem valores para uma temperatura média.

Tabela 24 : Valores de calor específico (Cp) calculados através de modelos de predição

Modelo Empírico	Calor específico (kJ/kg°C)		
	Concentração (°Brix)		
	8	15	21
SIEBEL (citado por CHOI & OKOS, 1986) (Eq. 21)	3,92	3,68	3,48
DICKERSON (citado por CHOI & OKOS, 1986) (Eq. 22)	3,99	3,81	3,66
LAMB (citado por CHOI & OKOS, 1986) (Eq. 23)	3,97	3,78	3,61
CHOI & OKOS (1986) (Eq. 24)	3,92	3,70	3,50

Pode-se perceber a grande dependência desta propriedade termofísica com a umidade presente nas concentrações. Verifica-se que quanto maior o teor de umidade, maior é o valor do calor específico; ou ainda quanto mais alto o teor de sólidos solúveis, mais baixo torna-se o valor do calor específico (figura 13).

Comparando os resultados obtidos experimentalmente (tabela 23), nota-se que estes não seguiram a tendência como nos preditos em relação ao teor de umidade. Para a temperatura de 30°C os valores experimentais foram menores que os valores preditos com diferença na ordem de 18%, 4% e 18% para as concentrações de 8,0; 15,0 e 21°Brix, respectivamente.

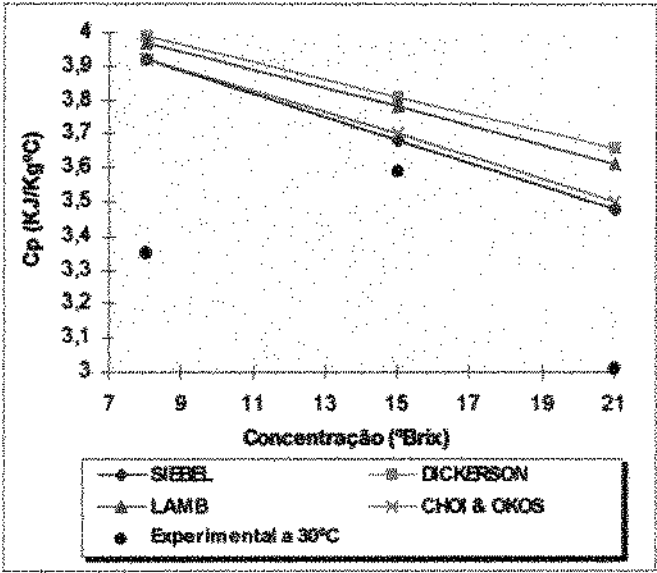


Figura 13 - Representação gráfica de calor específico calculado através de equações empíricas

Analisando os resultados obtidos experimentalmente para a temperatura de 50°C (tabela 23), verifica-se que estes não foram consistentes com a literatura. Com base nestes resultados aparentemente não significativos, fez-se a determinação desta propriedade no equipamento DSC (Differential Scanning Calorimetry).

Pode-se perceber que para a temperatura de 50°C, o valor obtido para o calor específico está compreendido na faixa de 5,0 a 5,4 kJ/kg°C. No equipamento DSC, este fenômeno foi também observado para as concentrações de 8,0 e 21°Brix, exceto para a concentração de 15°Brix. No Apêndice (A) são apresentados os resultados obtidos pelo DSC, estes valores merecem um estudo mais aprofundado e talvez reflitam alguma reação do suco a partir de uma certa temperatura.

4.2.4. DIFUSIVIDADE TÉRMICA

A tabela (25) apresenta os valores obtidos de difusividade térmica (média de 3 experimentos) para o suco de acerola a 8,0; 15,0 e 21ºBrix, bem como os correspondentes coeficientes de correlação.

Tabela 25 : Difusividade térmica (α) do suco de acerola

Concentração (ºBrix)	Difusividade Térmica (m²/s)10 ⁷	Coefficientes de Correlação
8,0	1,653 ± 0,009	0,99
15,0	1,614 ± 0,004	0,99
21,0	1,605 ± 0,036	0,99

No momento, ainda não existem na literatura dados publicados de difusividade térmica referente ao suco de acerola; no entanto os resultados obtidos encontram-se em concordância com os dados publicados de várias polpas de frutas (ALVARADO, 1994) como pode ser verificado no capítulo 2 através da tabela (09).

Através da equação empírica (equação 7) proposta por RIEDEL (citado por CHOI & OKOS, 1986) foram obtidos os valores previstos para as três concentrações estudadas, como podem ser visualizados na tabela (26).

Tabela 26 : Valores de difusividade térmica (α) real do suco de acerola em relação aos valores previstos, assim como suas variações

Concentração (ºBrix)	Umidade (%)	(α) experimental (m²/s)10 ⁷	(α) predito (m²/s)10 ⁷	Variação (%)
8,0	92,0	1,653	1,49	10,94
15,0	85,0	1,614	1,44	12,08
21,0	78,81	1,605	1,40	14,64

O valor médio de difusividade térmica da água (α_w) para a faixa de temperatura estudada é de 1,545.10⁻⁷ m²/s.

Pode-se observar que a medida que a concentração aumenta o valor da difusividade térmica diminui e vice-versa.

Deve-se salientar que a equação proposta por RIEDEL (equação 07) tem uma precisão de aproximadamente 5% de erro.

As figuras 14, 15 e 16 apresentam os experimentos realizados em triplicata, para a determinação da difusividade térmica do suco de acerola a concentrações de 8,0; 15,0 e 21°Brix, onde T_R é a temperatura no raio e T_0 é a temperatura no centro do cilindro.

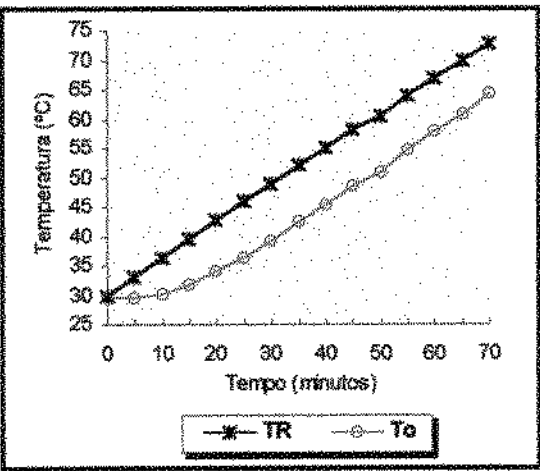
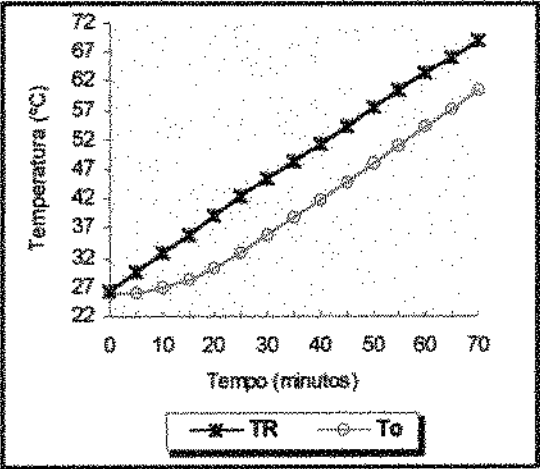
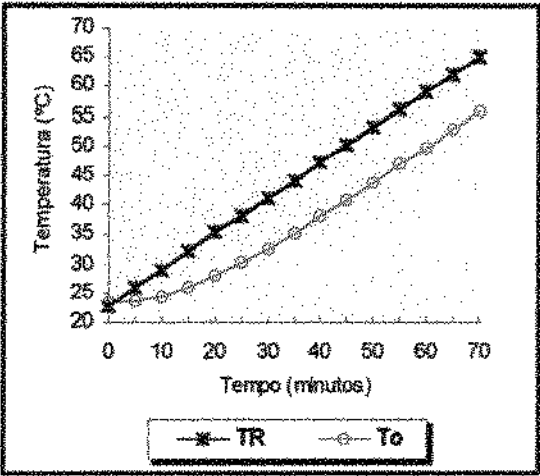


Figura 14 - Variação de temperatura em função do tempo para determinação da difusividade térmica do suco de acerola a 8°Brix

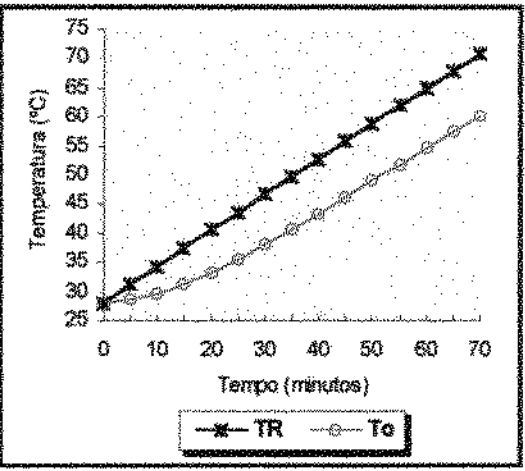
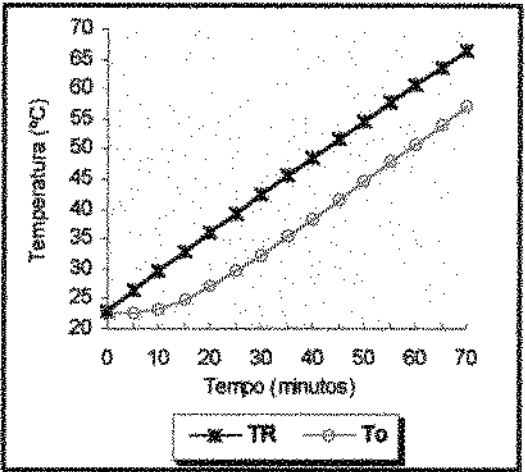
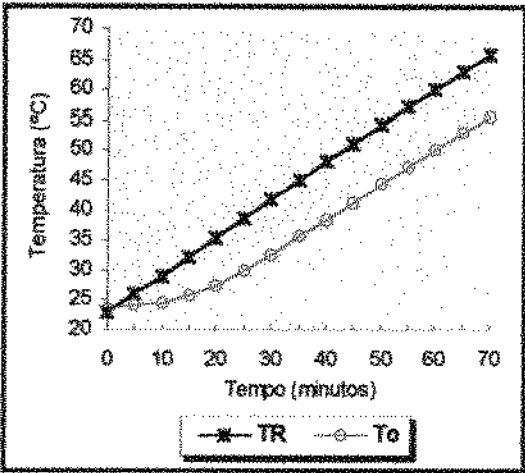


Figura 15 - Variação de temperatura em função do tempo para determinação da difusividade térmica do suco de acerola a 15°Brix

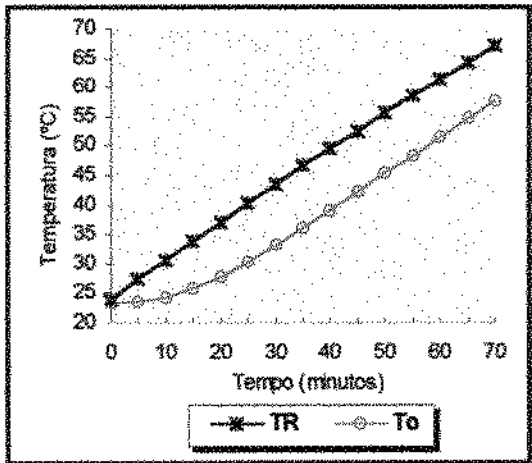
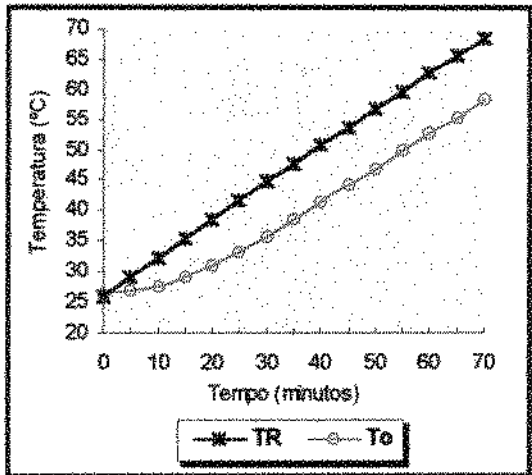
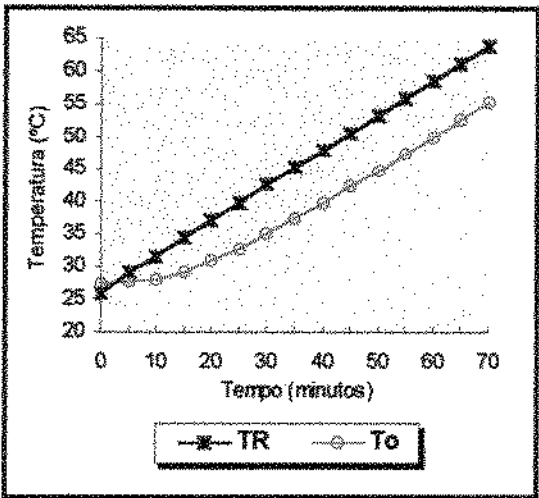


Figura 16 - Variação de temperatura em função do tempo para determinação da difusividade térmica do suco de acerola a 21°Brix

4.2.5. CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade térmica (K) para o suco de acerola foi determinada através da equação 6 (Capítulo 2) de forma indireta, conforme descrita no item 3.2.6 (capítulo 3), utilizando as propriedades: densidade, calor específico e difusividade térmica conforme apresentadas nos itens 4.2.2; 4.2.3 e 4.2.4, respectivamente. Os resultados obtidos para a condutividade térmica estão apresentados na tabela (27).

Tabela 27: Valores de condutividade térmica (K) calculados através de propriedades termofísicas (T_{média} = 50°C)

Concentração (°Brix)	Condutividade Térmica (W/m°C)
8,0	0,574
15,0	0,617
21,0	0,526

Os resultados obtidos para a condutividade térmica não mostraram tendências muito claras, devido ao fato de uma das propriedades (Cp) apresentar valores não muito significativos. No entanto, estes valores encontram-se coerentes com a literatura, o que pode ser verificado através da tabela (9) no capítulo 2.

A tabela (28) e a figura (17) apresentam os valores de condutividade térmica calculados através de equações empíricas. Pode-se observar que a melhor estimativa dos valores experimentais é dado pela equação de SWEAT (1986) e CHOI & OKOS (citado por SWEAT, 1986).

Tabela 28: Valores de condutividade térmica (K) calculados através de modelos de predição

Modelo Empírico	Condutividade Térmica (W/m°C)		
	Concentração (°Brix)		
	8	15	21
KOLAROV & GROMOV (citado por SWEAT, 1986) (Eq. 02)	0,526	0,497	0,471
SWEAT (1986) (Eq. 03)	0,602	0,567	0,537
CHOI & OKOS (citado por SWEAT, 1986) (Eq. 04)	0,571	0,538	0,507

Pode-se notar que a umidade afeta a condutividade térmica, quanto mais alto o teor de umidade, maior é o valor da condutividade térmica, ou seja, à medida em que há um aumento do teor de sólidos solúveis ocorre um decréscimo da condutividade térmica. Este comportamento pode ser visualizado através da tabela (28) e da figura (17) segundo os autores citados.

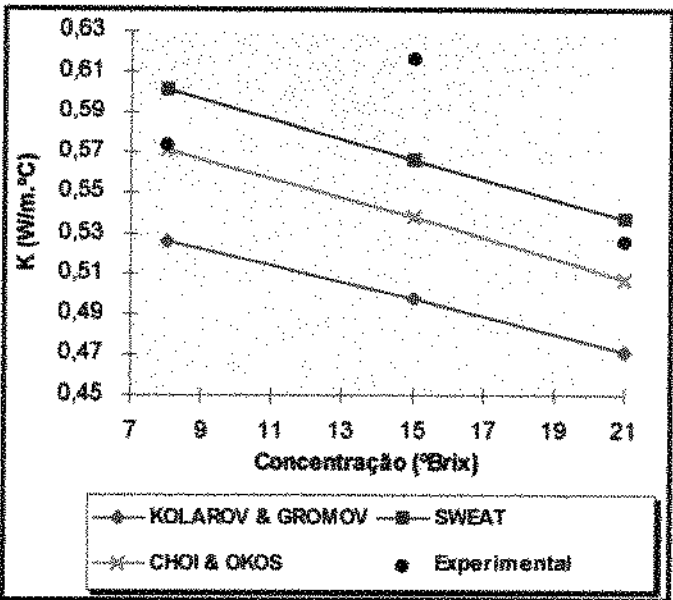


Figura 17 - Representação gráfica da condutividade térmica calculada através de equações empíricas

4.3. CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA

4.3.1. ANÁLISE DOS REOGRAMAS

Neste estudo foram utilizadas as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix e temperaturas de 10,0; 30,0 e 50°C para a obtenção dos reogramas, tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

As figuras 18, 19, 20 e 21 apresentam os resultados experimentais obtidos da tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) para as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix nas temperaturas de 10,0; 30,0 e 50°C.

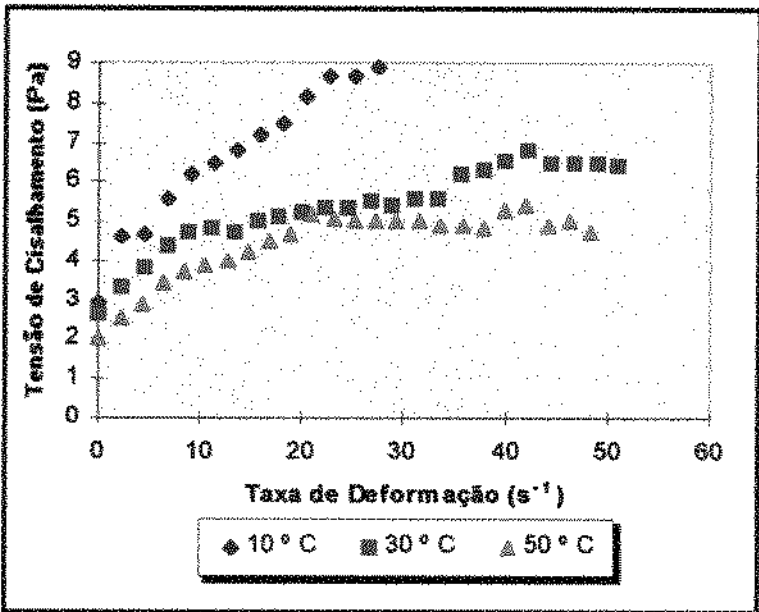


Figura 18 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a concentração de 8°Brix a diferentes temperaturas

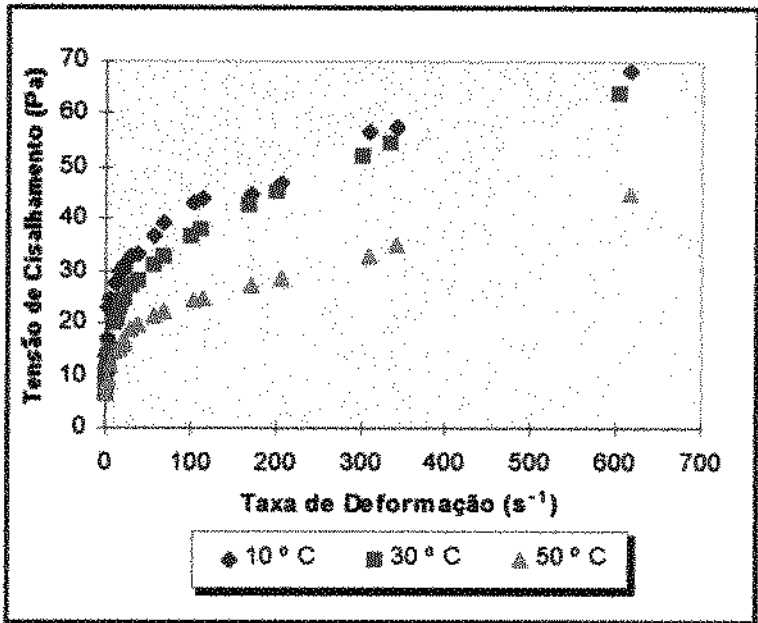


Figura 19 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a concentração de 15°Brix a diferentes temperaturas

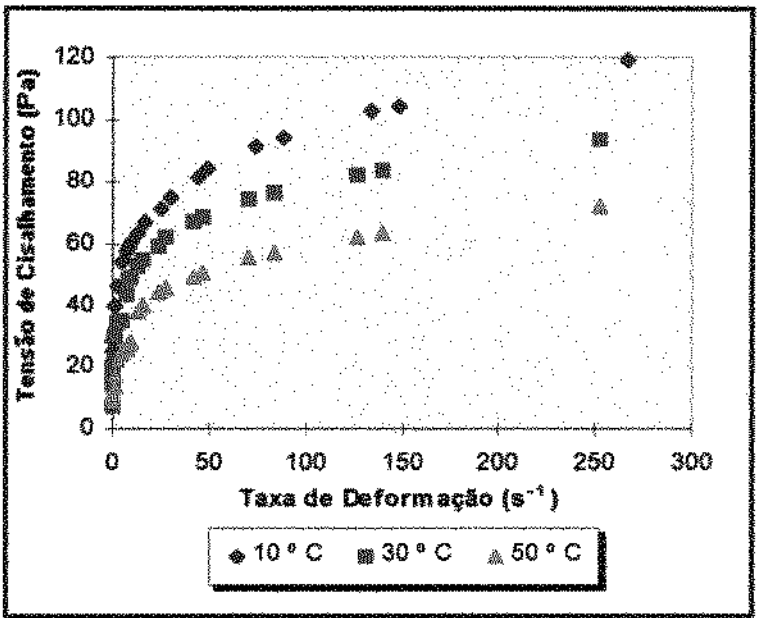


Figura 20 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a concentração de 21°Brix a diferentes temperaturas

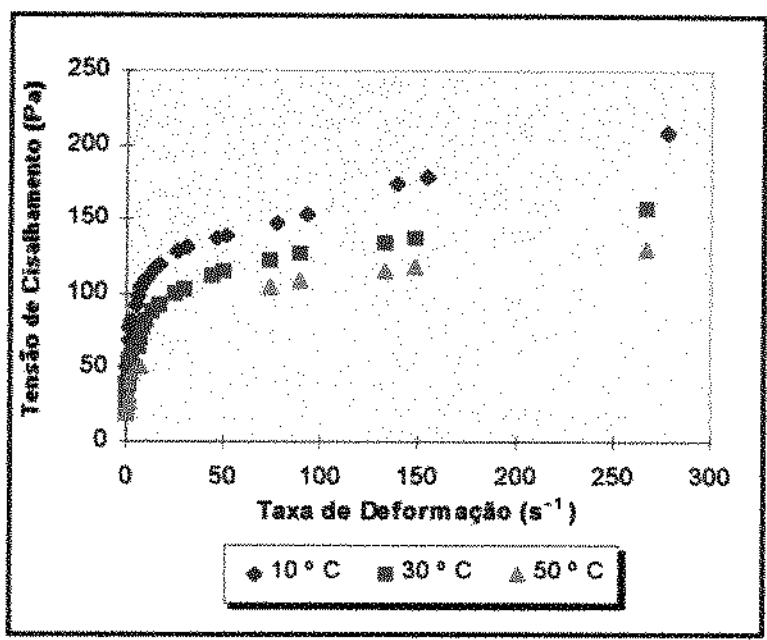


Figura 21 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a concentração de 27°Brix a diferentes temperaturas

Pode-se observar um forte comportamento não-Newtoniano em todas as concentrações e temperaturas, verificando-se a queda esperada da consistência com o aumento da temperatura.

As figuras 22, 23 e 24 apresentam os mesmos resultados experimentais obtidos da tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$), graficados à temperatura constante em função da concentração.

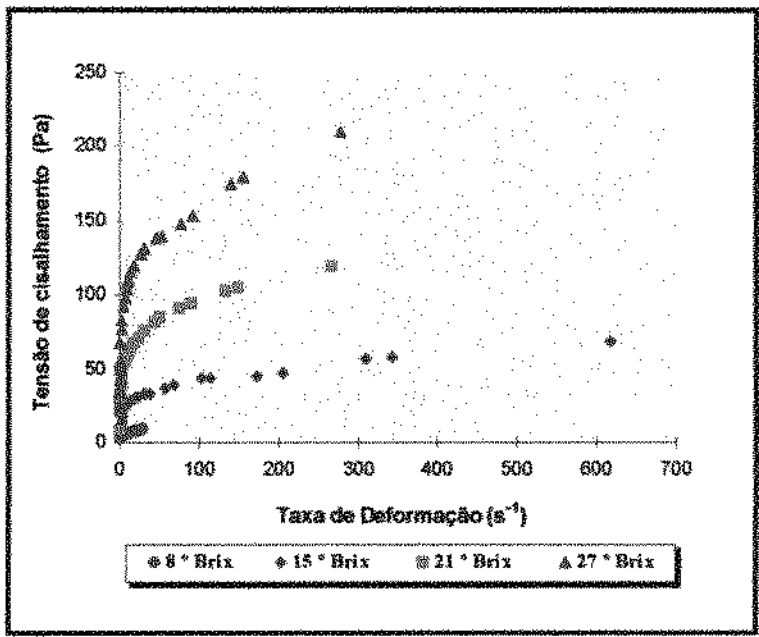


Figura 22 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a temperatura de 10°C a diferentes concentrações

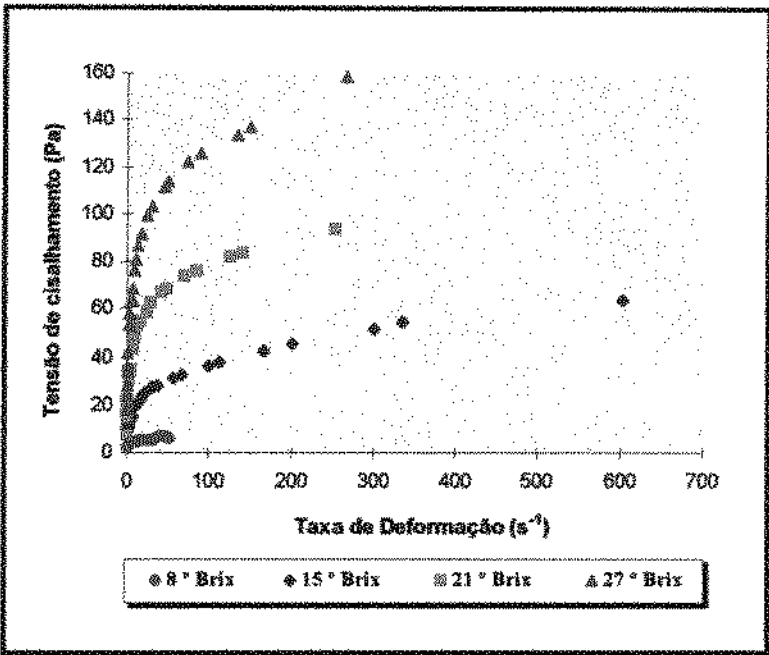


Figura 23 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a temperatura de 30°C a diferentes concentrações

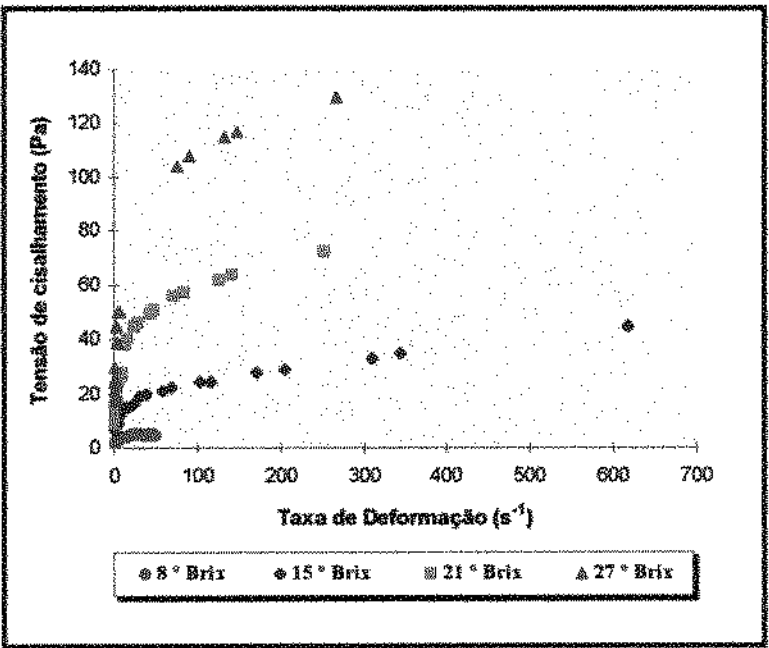


Figura 24 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a temperatura de 50°C a diferentes concentrações

Pode-se observar um efeito muito pronunciado nas curvas à medida que se aumenta a concentração.

4.3.2. OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS REOLÓGICOS

Para a análise dos dados experimentais obtidos para cada concentração e temperatura, foram utilizados os modelos reológicos de Ostwald-de-Waele-Nutting, Herschel-Bulkley e Casson (equações 28, 29 e 30, respectivamente).

Os parâmetros reológicos para cada modelo foram determinados utilizando-se o Software Estatística versão 5.0, através de regressão não linear para o modelo de Herschel-Bulkley e regressão linear para os modelos de Ostwald-de-Waele e Casson, assim como a análise estatística dos dados.

As figuras (25) a (36) apresentam os resultados experimentais obtidos da tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) para as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix nas temperaturas de 10,0; 30,0 e 50°C, apresentando o ajuste de cada modelo.

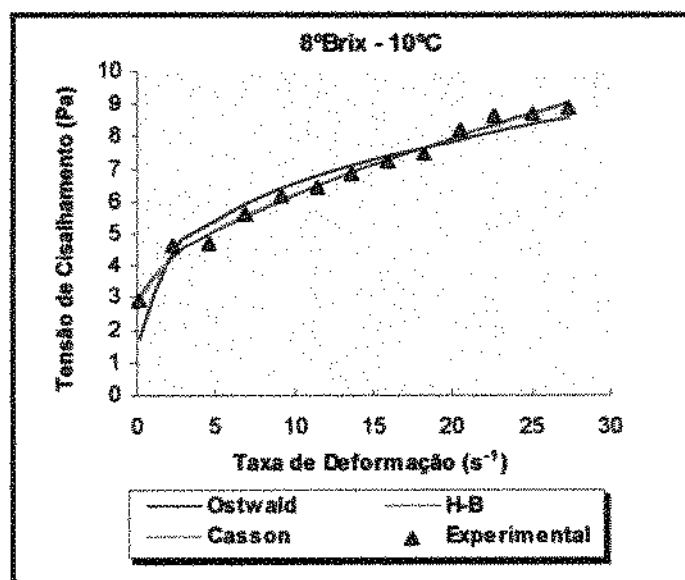


Figura 25 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 8°Brix e 10°C

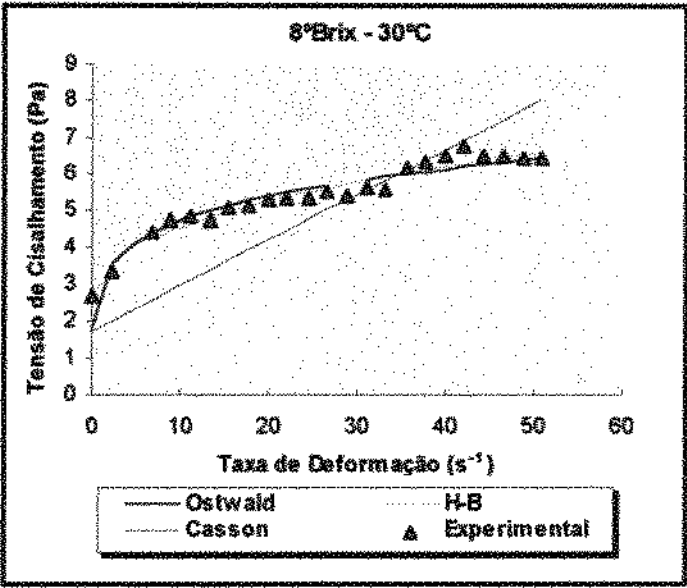


Figura 26 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 8°Brix e 30°C

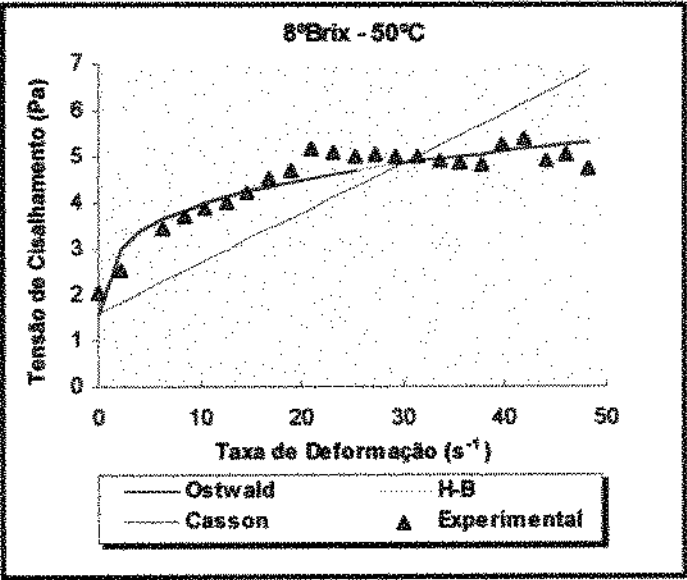


Figura 27 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 8°Brix e 50°C

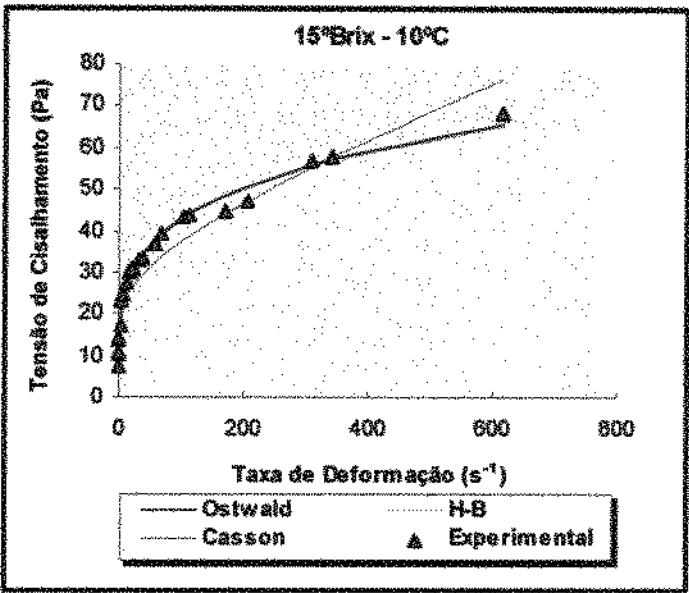


Figura 28 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 15°Brix e 10°C

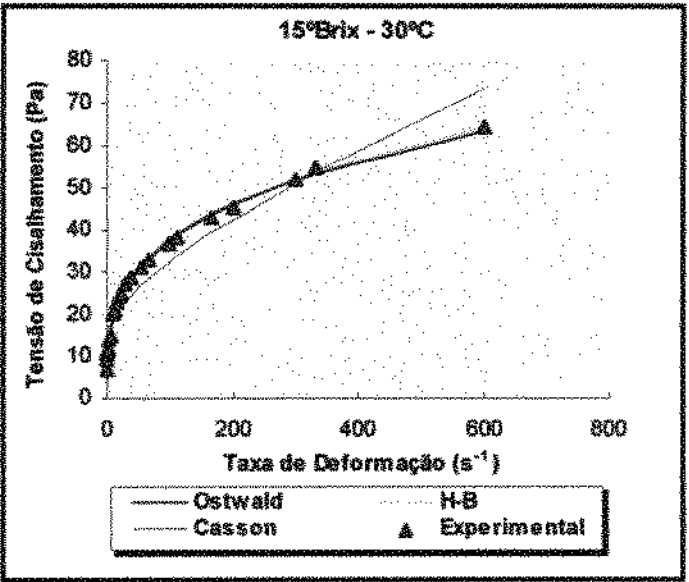


Figura 29 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 15°Brix e 30°C

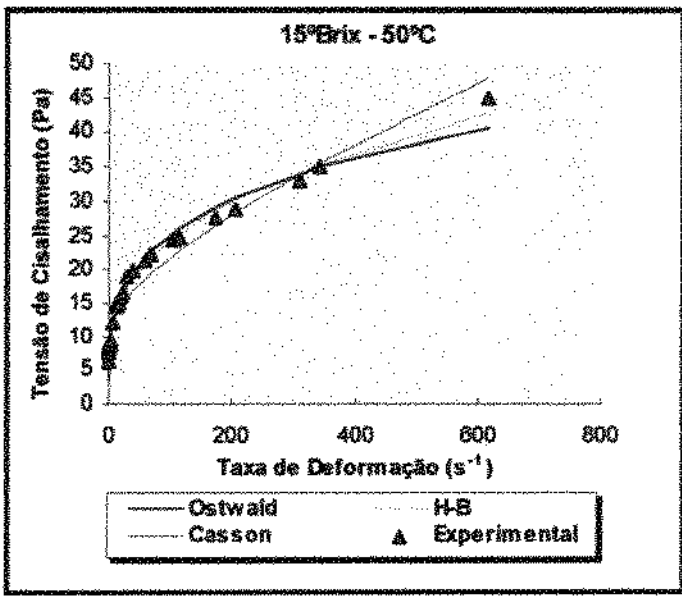


Figura 30 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 15°Brix e 50°C

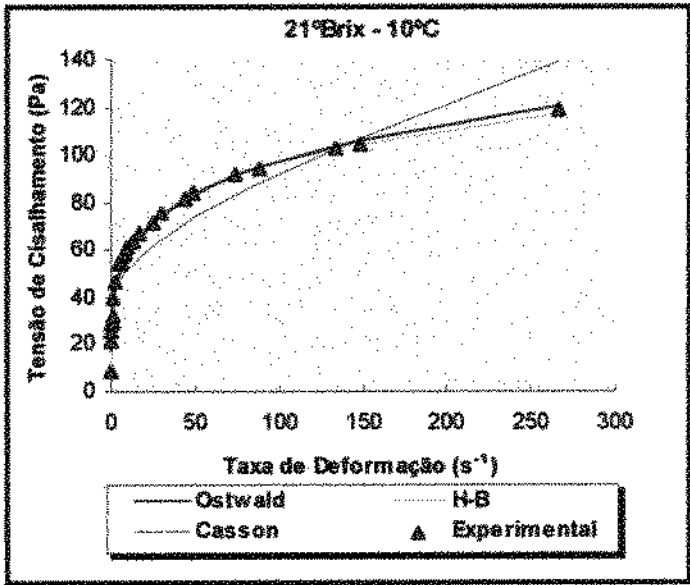


Figura 31 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 21°Brix e 10°C

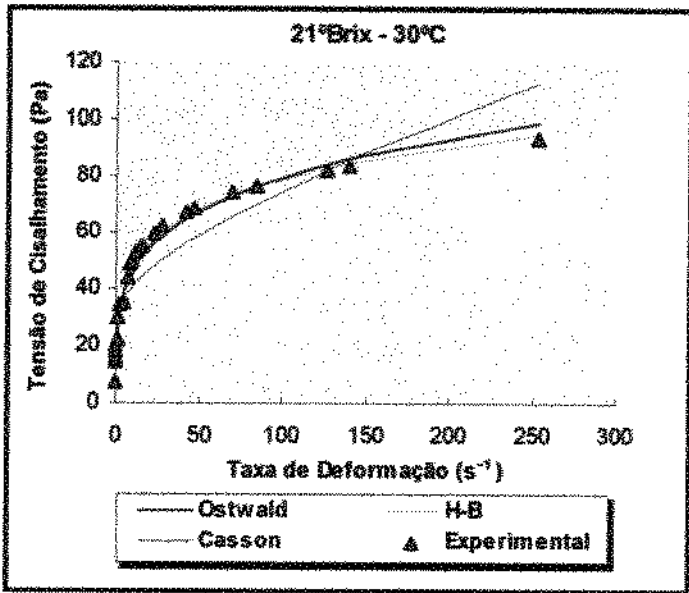


Figura 32 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 21°Brix e 30°C

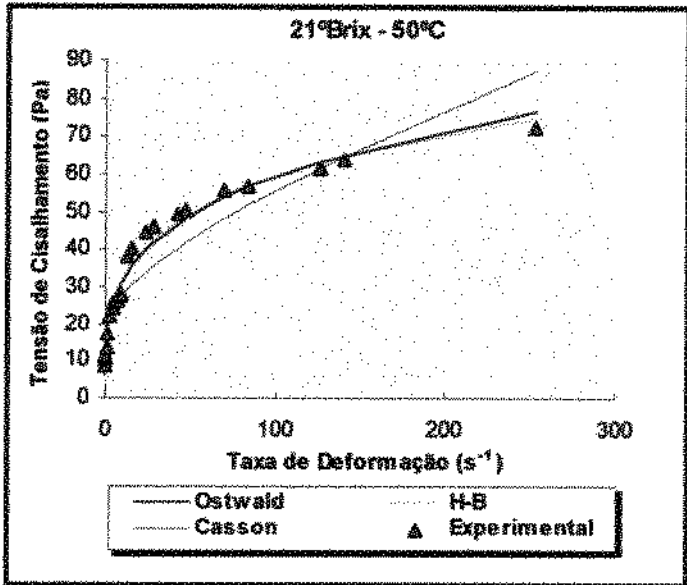


Figura 33 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 21°Brix e 50°C

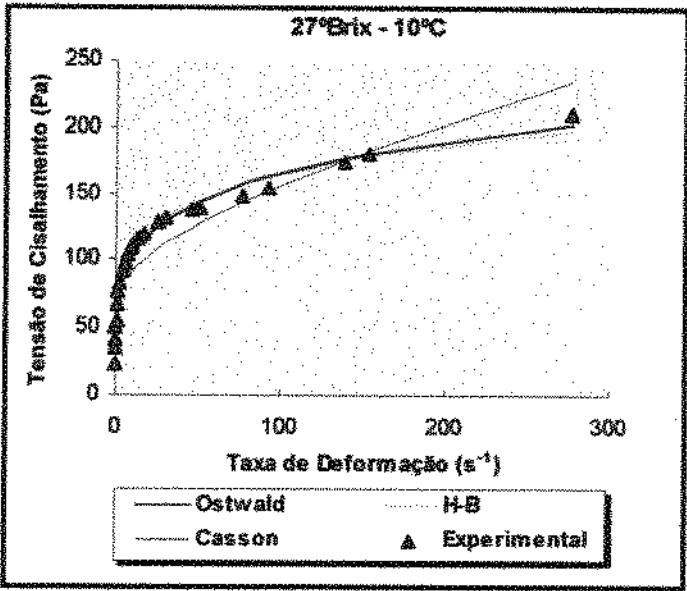


Figura 34 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 27°Brix e 10°C

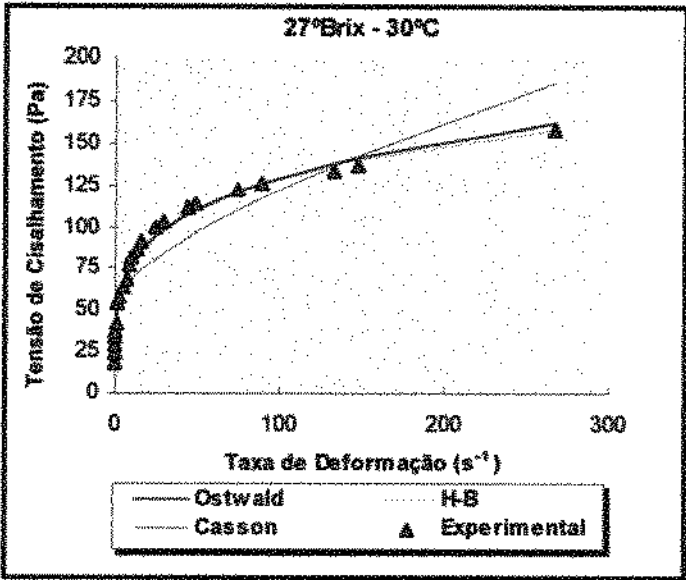


Figura 35 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 27°Brix e 30°C

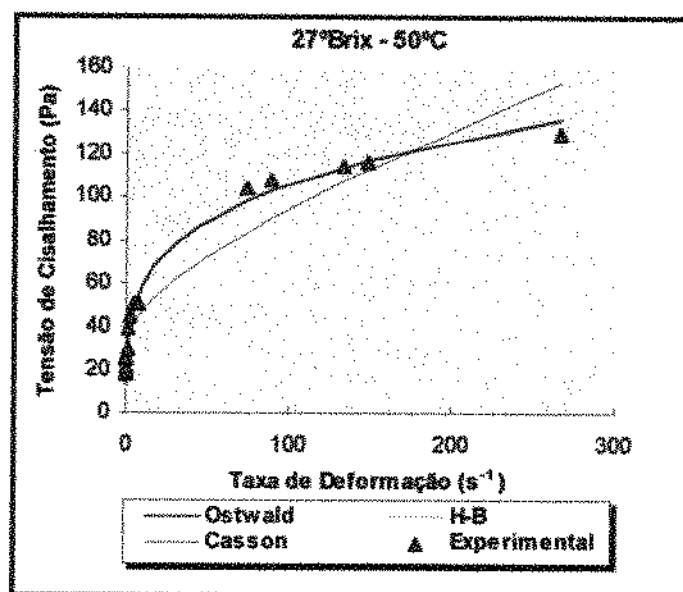


Figura 36 - Ajuste dos modelos de Ostwald, Herschel-Bulkley e Casson em relação aos valores experimentais a 27°Brix e 50°C

Pode-se determinar de modo qualitativo, mediante a observação direta nos reogramas apresentados (25 a 36) que o ajuste dos modelos reológicos de Ostwald-de-Waele e Herschel-Bulkley com relação aos valores obtidos experimentalmente são bastante coincidentes, porém o mesmo não ocorreu com o modelo de Casson, sendo que este não se adequou aos valores experimentais.

Para a determinação do melhor ajuste aos dados experimentais foram analisados os valores de:

- porcentagem de variação explicada (R^2), definido como o quociente da soma quadrática da regressão pela soma quadrática total, expressa por:

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = \pm \frac{\sum (y_{pre} - \bar{y})^2}{\sum (y_{obs} - \bar{y})^2} \quad (43)$$

onde:

SQR $\Rightarrow$ soma quadrática devido à regressão (variação explicada)

SQT $\Rightarrow$ soma quadrática total (variação total)

$\bar{y}$ $\Rightarrow$ média amostral

- teste do qui-quadrado (χ^2), definido como a diferença entre os valores obtidos experimentalmente (observados) e os valores previstos pelo modelo (esperados), expresso por:

$$\chi^2 = \sum (y_{obs} - y_{pre})^2 \quad (44)$$

onde:

$\chi^2 \Rightarrow$ teste do qui-quadrado

$y_{obs} \Rightarrow$ valor experimental (frequências observadas)

$y_{pre} \Rightarrow$ valor previsto pelo modelo (frequências esperadas ou teóricas)

Quanto maior for o valor de χ^2 maior será a discrepância entre as frequências observadas e esperadas. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de R^2 e baixos valores de χ^2 .

A quantidade R , denominada coeficiente de correlação, é dada por:

$$R = \pm \sqrt{\frac{\text{variação explicada}}{\text{variação total}}} = \pm \sqrt{\frac{\sum (y_{pre} - \bar{y})^2}{\sum (y_{obs} - \bar{y})^2}} \quad (45)$$

A tabela (29) apresenta os resultados dos parâmetros (K e n) referente ao modelo de Ostwald. Os resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Herschel-Bulkley e de Casson encontram-se nas tabelas 30 e 31, respectivamente.

Tabela 29 : Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Ostwald a diferentes temperaturas e concentrações

Sólidos Solúveis (°Brix)	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	χ^2	R	R ² (%)
8	10	3,56	0,26	2,740	0,965	93,127
	30	3,04	0,19	2,012	0,960	92,243
	50	2,59	0,18	2,375	0,936	87,584
15	10	14,59	0,23	71,130	0,994	98,792
	30	9,94	0,29	21,535	0,998	99,631
	50	7,24	0,27	43,489	0,990	98,115
21	10	35,62	0,22	135,999	0,996	99,305
	30	26,66	0,24	255,057	0,991	98,209
	50	16,92	0,27	175,037	0,990	98,030
27	10	64,31	0,20	825,563	0,992	98,450
	30	45,38	0,23	344,014	0,995	99,049
	50	32,59	0,26	193,363	0,996	99,217

Tabela 30 : Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Herschel-Bulkley a diferentes temperaturas e concentrações

Concentração (°Brix)	T (°C)	τ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	χ^2	R	R ² (%)
8	10	2,802	0,89	0,59	0,417	0,995	98,954
	30	2,352	0,84	0,41	1,022	0,980	96,061
	50	0,976	1,64	0,25	2,272	0,939	88,123
15	10	-1,692	16,07	0,22	70,128	0,994	98,809
	30	2,924	7,72	0,32	13,300	0,999	99,772
	50	4,9897	3,48	0,37	18,360	0,996	99,204
21	10	-24,7476	59,74	0,15	29,095	0,999	99,851
	30	-25,966	51,74	0,15	109,706	0,996	99,230
	50	-5,8531	22,27	0,23	155,121	0,991	98,254
27	10	-41,522	105,01	0,15	587,713	0,994	98,896
	30	-24,772	69,23	0,17	191,473	0,997	99,470
	50	-4,39	36,91	0,24	185,891	0,996	99,247

Tabela 31 : Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Casson a diferentes temperaturas e concentrações

Concentração (°Brix)	T (°C)	K _{OC} (Pa) ^{0,5}	K _C (Pa.s) ^{0,5}	χ^2	R	R ² (%)
8	10	1,69	0,25	0,419	0,995	98,948
	30	1,72	0,12	1,332	0,974	94,864
	50	1,59	0,11	3,722	0,897	80,545
15	10	4,34	0,18	696,569	0,939	88,156
	30	3,74	0,20	433,721	0,962	92,568
	50	3,15	0,15	115,250	0,975	95,006
21	10	6,13	0,35	3194,390	0,915	83,678
	30	5,32	0,33	2714,135	0,900	80,945
	50	4,29	0,32	1372,267	0,919	84,558
27	10	8,22	0,43	8756,669	0,914	83,555
	30	6,95	0,41	6031,026	0,913	83,322
	50	5,54	0,42	2303,648	0,952	90,671

Comparando os resultados dos 3 modelos ajustados para a concentração de 8°Brix para as 3 temperaturas estudadas, observa-se que o modelo de Herschel-Bulkley é o que apresentou os menores valores para o χ^2 e os maiores para R^2 . Para as concentrações de 15,0; 21,0 e 27°Brix para todas as temperaturas estudadas, o modelo de Ostwald é o que melhor ajustou aos dados experimentais. Apesar do modelo de Herschel-Bulkley ajustar bem aos dados experimentais apresentando os melhores valores de correlação linear, o parâmetro τ_0 apresentou-se negativo, o que não tem significado físico, portanto, conclui-se que o comportamento real do suco de acerola, nas condições estudadas, pode ser predito pelo modelo de Ostwald.

BRANCO (1995) encontrou valores negativos de tensão inicial (τ_0) para o suco de laranja concentrado (55°Brix) à uma temperatura mínima de -19,4°C. Segundo a autora os valores negativos, neste caso, podem ser devido à interferência dos cristais de gelo nos ensaios com baixas taxas de deformação.

Observando-se os resultados obtidos para o índice de consistência (tabela 29) verifica-se que a uma dada concentração, o aumento da temperatura causa uma

diminuição deste parâmetro; mas este, se eleva com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis à temperatura constante.

Com relação ao índice de comportamento de fluxo (n), a temperatura mostrou uma influência não muito bem definida. Nota-se que a 21,0 e 27°Brix, (n) se elevou com o aumento da temperatura, porém a 8°Brix (n) diminuiu com o aumento da temperatura e finalmente para a concentração de 15°Brix, (n) não obteve-se uma definição. Portanto verifica-se que índice de comportamento de fluxo encontra-se na faixa de 0,18 a 0,29, indicando que o suco a todas as concentrações e temperaturas estudadas, comporta-se como fluido pseudoplástico (tabela 29). Ainda que estes valores sejam muito baixos, podem ser indicativos da existência de um fenômeno de escorregamento da amostra na parede do sistema de medida, devido à formação de uma camada fina de líquido na superfície da amostra que está em contato com a parede do sistema de medida, resultando em taxas de deformação maiores perto da parede.

RAO et al. (1981) encontraram também valores muito baixos para o índice de comportamento de fluxo para concentrados de tomate (5 variedades), menores que 0,31.

As figuras 37, 38 e 39 apresentam os valores de K e n em função da concentração para as diferentes temperaturas estudadas.

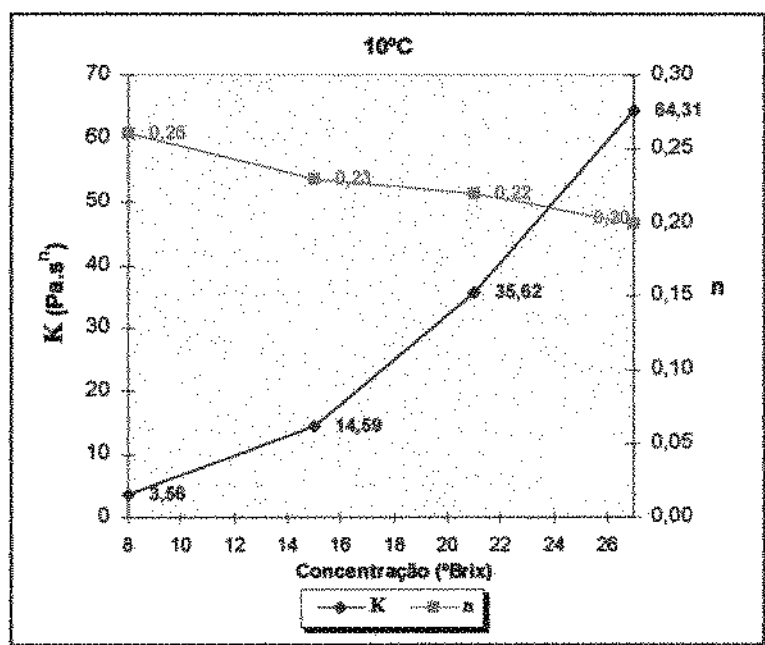


Figura 37 - Parâmetros reológicos K e n em função da concentração para a temperatura de 10°C

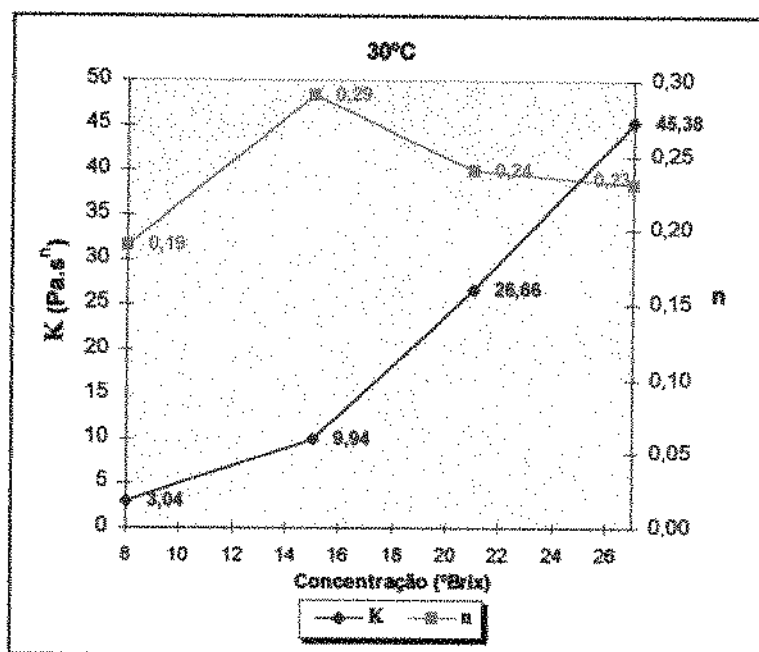


Figura 38 - Parâmetros reológicos K e n em função da concentração para a temperatura de 30°C

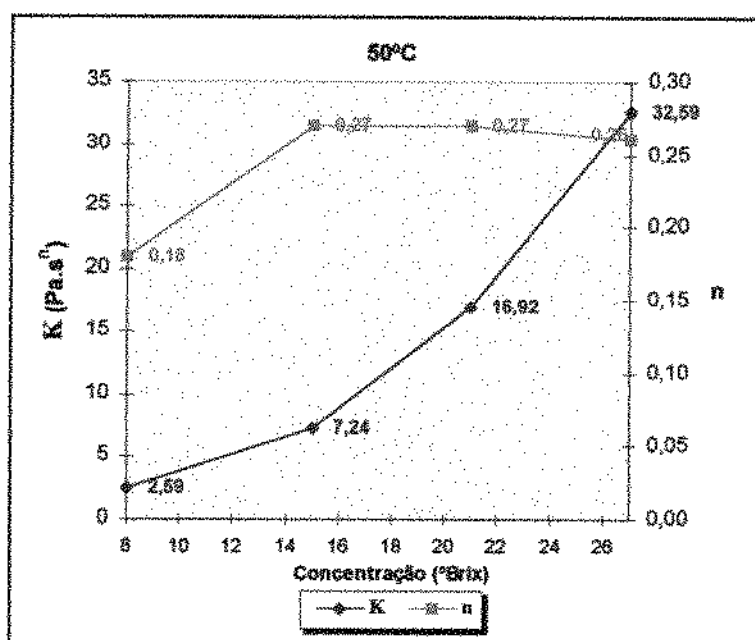


Figura 39 - Parâmetros reológicos K e n em função da concentração para a temperatura de 50°C

O comportamento com relação ao índice de comportamento de fluxo (n) para a temperatura de 10°C decresceu com o aumento de sólidos solúveis, mas para as temperaturas de 30 e 50°C a tendência não foi bem definida, enquanto que o índice de consistência (K) se elevou com o aumento de sólidos solúveis para todas as temperaturas.

Pode-se observar que os dados referentes a 8°Brix, em especial ao que se refere ao valor de n , não mostraram uma boa concordância em relação aos dados das outras concentrações. Deve-se lembrar que estes dados foram obtidos em um reômetro diferente. Mais uma razão plausível, é que neste caso o material se comporta como uma suspensão de partículas suspensas num meio diluído e não como num sistema contínuo.

É importante salientar que a variação de valores de n entre os autores é função de muitas variáveis, tais como variedade, processo de obtenção, grau de maturação, método de determinação dos parâmetros reológicos, etc.

Os dados obtidos podem ser comparados com os determinados por MATSUURA (1994) para o suco de acerola integral e concentrado (tabela 32).

Tabela 32 : Parâmetros do modelo de Ostwald obtidos por MATSUURA (1994) para o suco de acerola

Sólidos Solúveis (°Brix)	Temperatura (°C)	K (Pa.s ⁿ)	(n) (-)
7,5	15	2,964	0,449
	25	2,901	0,446
	50	2,750	0,451
	85	2,615	0,464
8,5	25	3,071	0,417
12,5	25	3,679	0,328
16,5	15	4,097	0,287
	25	3,992	0,299
	50	3,791	0,319

Fonte : MATSUURA (1994)

Pode-se observar, comparando as tabelas (29) e (32) que os dados obtidos neste trabalho indicam maior afastamento do comportamento Newtoniano. Em todos os casos os valores de n são menores e os índices de consistências são maiores. Estes resultados são mais notáveis, visto que os sucos tratados por MATSUURA (1994) apresentaram um diâmetro médio de 146 a 106 μm , e neste trabalho o suco apresenta um diâmetro máximo

de 50 µm de polpa particulada (item 4.4), com exceção de alguns elementos de vasos espiralados. Entretanto, o conteúdo de pectina é quase 4 vezes maior que do suco estudado pelo referido autor (18,9% base seca a 5,4% base seca) e o teor de fibras é 80% superior. Como se pode concluir, que variações na composição influenciam muitos os parâmetros em questão.

4.3.3. CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS “K” E “n” EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA (K) E CONCENTRAÇÃO (°BRIX)

Os parâmetros reológicos da equação do modelo de Ostwald, não são independentes, estando intercorrelacionados, vide suas unidades. Entretanto, é muito útil possuir correlações que nos permitam interpolar dados em função dos parâmetros do processo tais como composição, concentração da matéria-prima e temperatura.

Para obter um modelo que correlacione simultaneamente os efeitos da temperatura e da concentração para os parâmetros K e n, foram propostas 4 equações empíricas, cuja forma é o produto das contribuições individuais de cada parâmetro (vide relação abaixo). Para a temperatura (Kelvin) testou-se uma relação exponencial e para a concentração (°Brix) a relação de potência.

$$y = \exp^{a_1 T} \cdot C^{a_2} \quad (46)$$

$$y = a_1 \exp^{a_2 T} \cdot C^{a_3} \quad (47)$$

$$y = \exp^{a_1/T} \cdot C^{a_2} \quad (48)$$

$$y = a_1 \exp^{a_2/T} \cdot C^{a_3} \quad (49)$$

onde:

$$y \Rightarrow K \text{ ou } n$$

$$a_1, a_2 \text{ e } a_3 \Rightarrow \text{são constantes a serem determinadas}$$

Para o estudo da correlação foram utilizadas as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix e temperaturas de 10,0; 30,0 e 50°C (correlacionadas em Kelvin).

As constantes das equações (a_1 , a_2 e a_3) foram obtidas através do cálculo de regressão não linear através do Software Statística 5.0, utilizando-se o método Hooke-Jeeves & quasi-Newton.

A tabela (33) apresenta os resultados obtidos das constantes a_1 , a_2 e a_3 para os parâmetros K e n, para as 4 equações propostas, bem como o coeficiente de correlação (R), a porcentagem de variância explicada (R^2) (SPIEGEL, 1994) e o teste do qui-quadrado (χ^2) (STATSOFT, 1994).

Tabela 33 : Resultados dos parâmetros obtidos para K e n em função da temperatura (K) e concentração (°Brix), bem como sua análise estatística para as 4 equações propostas

Equação	Parâmetros obtidos para equações de K					
	a_1	a_2	a_3	R	R^2 (%)	χ^2
(46)	-0,0156	2,6009	-	0,9976	99,51	20,43
(47)	2,8250	-0,0172	2,4271	0,9991	99,81	7,75
(48)	-207,999	1,3356	-	0,8258	68,19	1328,48
(49)	0,0001	1529,3130	2,4084	0,9989	99,77	9,64
Equação	Parâmetros obtidos para equações de n					
	a_1	a_2	a_3	R	R^2 (%)	χ^2
(46)	-0,0046	-0,0136	-	-	-	0,02045
(47)	0,1019	0,0020	0,0795	0,3387	11,47	0,01174
(48)	-480,8140	0,0521	-	-	-	0,01374
(49)	0,3524	-187,5650	0,0796	0,3393	11,51	0,01174

Observando-se os resultados obtidos para o índice de consistência (K), verifica-se que as equações (47 e 49) apresentaram os melhores coeficientes estatísticos, com 0,9991 e 0,9989 para o coeficiente de correlação; 7,75 e 9,64 para o teste do qui-quadrado, respectivamente. Portanto, verificou-se que a equação (47) apresentou melhor correlação para o índice de consistência (K) do modelo de Ostwald-de-Waele.

A figura (40) apresenta o efeito combinado da temperatura e concentração em relação ao índice de consistência (K). Verificou-se que a concentração apresentou grande

influência sobre este parâmetro reológico; quanto maior a concentração maiores foram os valores de “K” em todas as temperaturas.

Com relação à temperatura, esta teve maior influência à medida que houveram aumentos na concentração, tendo pouca influência a baixos graus Brix. Resultados equivalentes foram encontrados por ADORNO (1997) para suco de manga, maracujá e goiaba.

A figura (41) apresenta análises de regressão linear dos valores observados “K experimental” em relação ao ajuste do modelo de Ostwald, em função dos valores previstos pelo modelo proposto para K com coeficiente de correlação de 0,9991, como pode ser verificado através da equação 47 (tabela 33).

Analisando-se os resultados obtidos para o índice de comportamento de fluxo (n), verificou-se novamente que não há uma tendência bem definida com a concentração e temperatura. Tanto a equação (47) como a equação (49) não apresentaram bons ajustes em função da temperatura e concentração.

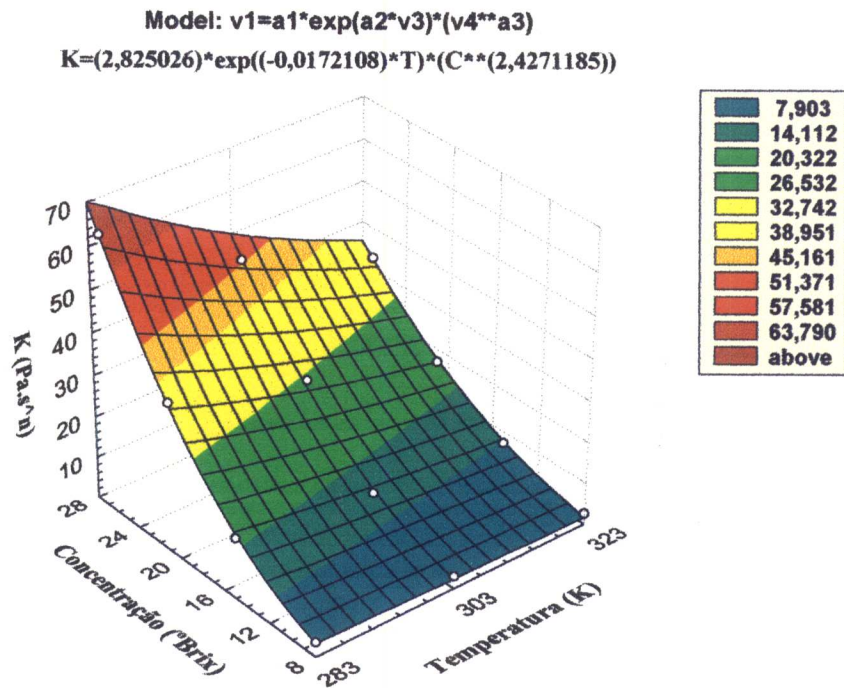


Figura 40 - Efeito combinado da temperatura e da concentração em relação ao índice de consistência (K)

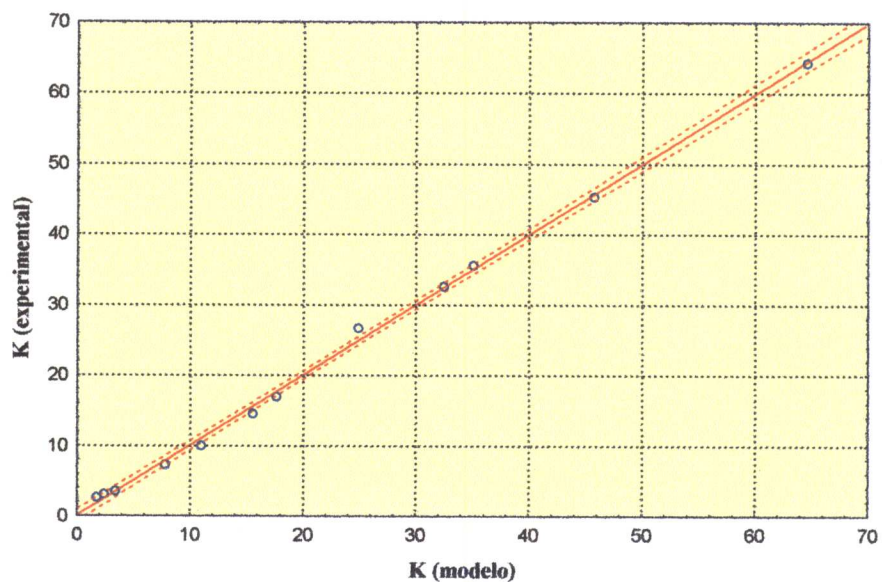


Figura 41 - Valores de índice de consistência experimental em relação ao índice de consistência do modelo em função da temperatura e concentração

A tabela (34) apresenta os valores obtidos para o teor de polpa, índice de consistência (K) para as respectivas concentrações 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix, para uma melhor visualização e análise.

Tabela 34 : Resultados obtidos para as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix referentes ao teor de polpa e índice de consistência

Sólidos Solúveis (°Brix)	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	Teor de Polpa (%)
8	10	3,56	43,83
	30	3,04	
	50	2,59	
15	10	14,59	78,96
	30	9,94	
	50	7,24	
21	10	35,62	98,64
	30	26,66	
	50	16,92	
27	10	64,31	99,76
	30	45,38	
	50	32,59	

Verifica-se que o parâmetro índice de consistência (K) está relacionado com o conteúdo de sólidos solúveis, com o tamanho médio das partículas suspensas e depende principalmente da porcentagem de polpa, conforme pode ser visualizado na tabela (34). Comportamento semelhante foi descrito por COSTELL et al. (1982), o qual cita que o comportamento reológico para o purê de damasco depende da quantidade de fase dispersa (polpa) e das características morfológicas da mesma.

A tabela (35) apresenta as concentrações de suco de acerola com seus respectivos teores de polpas, diâmetro médio das partículas e valores de n, encontrados por MATSUURA (1994), para fins comparativos.

Tabela 35 : Resultados de teores de polpa, diâmetro médio das partículas e de n para as respectivas concentrações do suco de acerola

Concentração (°Brix)	Teor de Polpa (%)	Diâmetro médio das partículas (mm)	n (-)
7,5	67,5	0,146	0,44 - 0,47
16,5	94,74	0,106	0,29 - 0,32

Fonte : MATSUURA (1994)

O efeito da temperatura com relação ao índice de consistência (K) também pode ser descrito por uma equação do tipo Arrhenius (equação 33). A tabela (36) e as figuras 42, 43, 44 e 45 apresentam este comportamento.

Tabela 36 : Resultados obtidos para as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix referentes ao índice de consistência (K) e a energia de ativação (Ea)

Concentração (°Brix)	Temperatura		T ⁻¹	K	log (K)	Ea	R ²
	(°C)	(K)	(K)	(Pa.s ⁿ)		(Kcal/gmol)	(%)
8,0	10	283	0,00353	3,56	0,55	0,63	99,84
	30	303	0,00330	3,04	0,48		
	50	323	0,00310	2,59	0,41		
15,0	10	283	0,00353	14,59	1,16	1,38	100
	30	303	0,00330	9,94	1,00		
	50	323	0,00310	7,24	0,86		
21,0	10	283	0,00353	35,62	1,55	1,46	96,67
	30	303	0,00330	26,66	1,43		
	50	323	0,00310	16,92	1,23		
27,0	10	283	0,00353	64,31	1,81	1,34	99,84
	30	303	0,00330	45,38	1,66		
	50	323	0,00310	32,59	1,51		

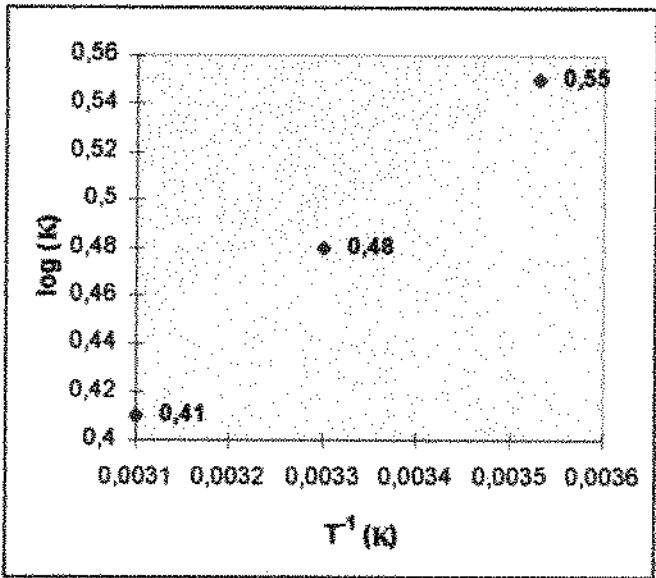


Figura 42 - Efeito da temperatura com relação ao índice de consistência para a concentração de 8°Brix

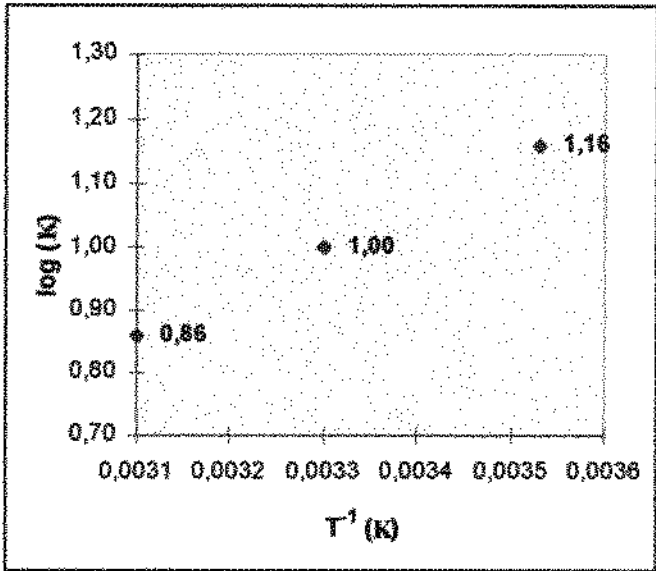


Figura 43 - Efeito da temperatura com relação ao índice de consistência para a concentração de 15°Brix

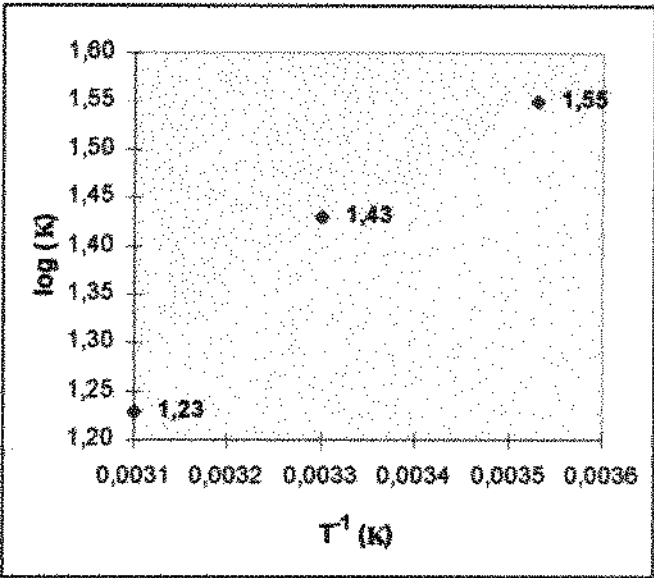


Figura 44 - Efeito da temperatura com relação ao índice de consistência para a concentração de 21°Brix

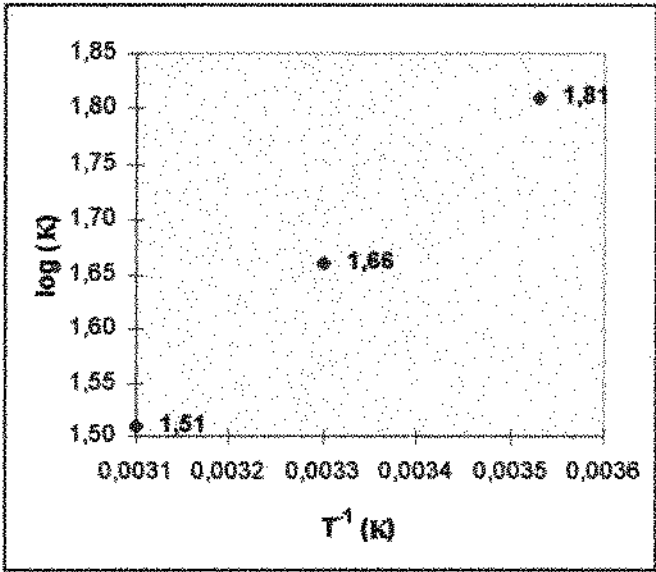


Figura 45 - Efeito da temperatura com relação ao índice de consistência para a concentração de 27°Brix

Observando a tabela (36) e os gráficos 42, 43, 44 e 45, verifica-se que o índice de consistência (K) segue razoavelmente a equação do tipo Arrhenius para todas as amostras analisadas (vide os coeficientes de correlação).

A tendência geral é que a E_a aumente com a concentração de sólidos solúveis. No presente trabalho, a energia de ativação (E_a) aumentou com a concentração de sólidos solúveis, mas somente até 21°Brix com valores de (0,63; 1,38; e 1,46 kcal/gmol), porém para a concentração de 27°Brix a energia de ativação foi menor (1,34 kcal/gmol), (tabela 36).

RAO et al. (1984) encontraram valores para a energia de ativação na faixa de 2,1 a 9,6 kcal/gmol para o suco de laranja concentrado a 65°Brix (diversas variedades) e 25°C, usando o modelo de Herschel-Bulkley baseado no índice de consistência.

4.3.3. VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E CONCENTRAÇÃO

A tabela (37) apresenta os valores da viscosidade aparente (η_a) calculada a uma taxa de deformação de $25s^{-1}$, segundo a equação abaixo:

$$\eta_a = \frac{K \dot{\gamma}^n}{\dot{\gamma}} \tag{50}$$

onde:

- $\eta_a \Rightarrow$ viscosidade aparente ($Pa.s^{-1}$)
- $K \Rightarrow$ índice de consistência ($Pa.s^n$)
- $\dot{\gamma} \Rightarrow$ taxa de deformação (s^{-1})
- $n \Rightarrow$ índice de comportamento de fluxo (adimensional)

Tabela 37 : Resultados obtidos para as concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix referentes à viscosidade aparente

Sólidos Solúveis (°Brix)	T (°C)	η_a ($Pa.s^{-1}$)
8	10	0,33
	30	0,22
	50	0,18
15	10	1,22
	30	1,01
	50	0,69
21	10	2,89
	30	2,31
	50	1,61
27	10	4,90
	30	3,81
	50	3,01

A figura 46 é um gráfico tridimensional de viscosidade aparente - temperatura - concentração, segundo uma equação do tipo Arrhenius (equação 51). Notou-se que a concentração apresentou uma influência significativa sobre este parâmetro reológico; quanto maior a concentração, maiores foram os valores de η_a em todas as temperaturas estudadas.

$$\eta_a = \eta_0 \cdot \exp^{\frac{E_a}{RT}} \cdot C^B \quad (51)$$

onde:

- $\eta_a \Rightarrow$ viscosidade aparente (Pa.s^{-1})
- $\eta_0 \Rightarrow$ constante (Pa.s)
- $E_a \Rightarrow$ energia de ativação (kcal/gmol)
- $R \Rightarrow$ constante dos gases (1.987cal/gmol K)
- $T \Rightarrow$ temperatura (K)
- $C \Rightarrow$ concentração ($^{\circ}\text{Brix}$)
- $B \Rightarrow$ constante

SARAVACOS (1970); RAO et al. (1981); IBARZ et al. (1992); IBARZ et al. (1994) estudaram o efeito da temperatura na viscosidade de sucos e todos seguiram também a relação de Arrhenius.

A figura (47) apresenta os valores de η_a experimental em função dos valores previstos com coeficiente de correlação de 0,999.

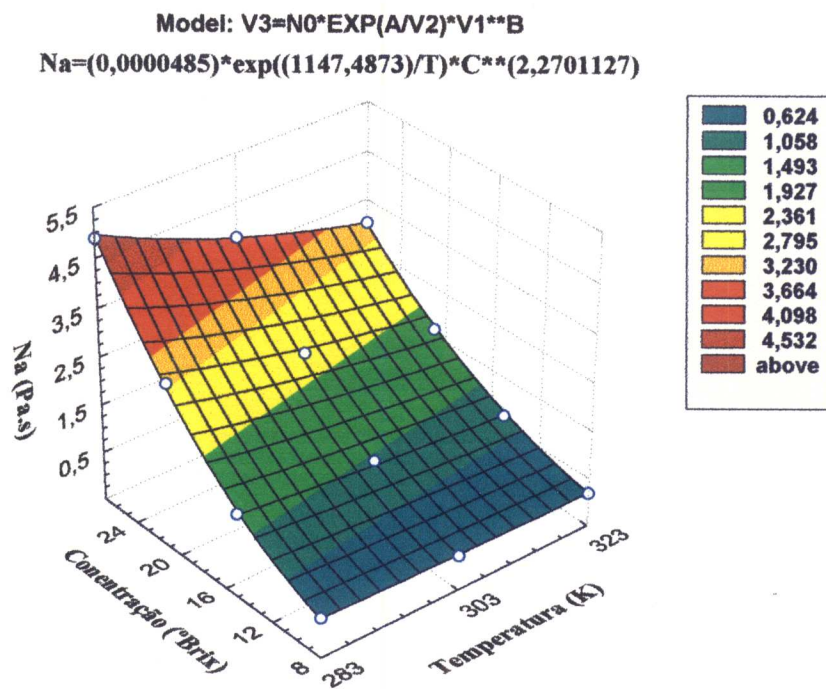


Figura 46 - Efeito combinado da temperatura e da concentração em relação à viscosidade aparente (η_a)

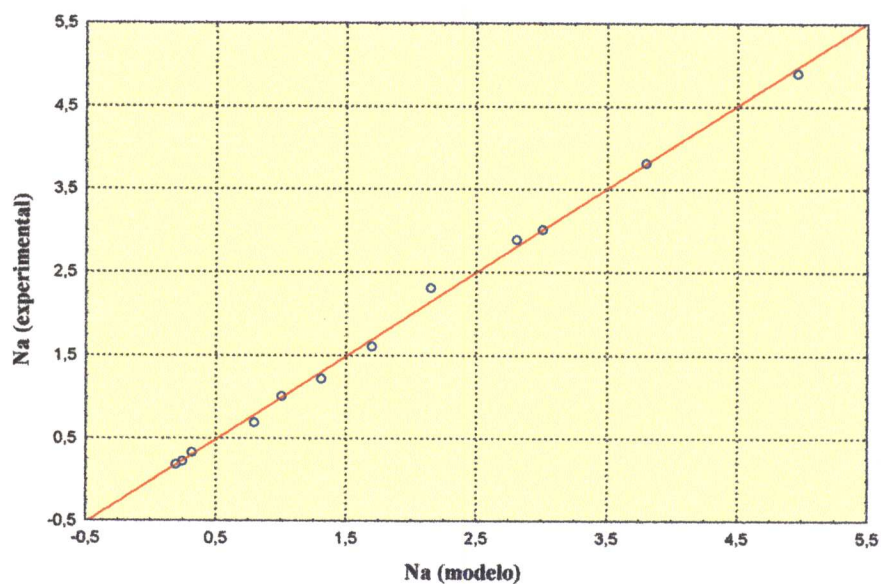


Figura 47 - Valores de viscosidade aparente experimental em relação à viscosidade aparente obtida através do modelo em função da temperatura e concentração

4.4. MICROFOTOGRAFIAS DAS PARTÍCULAS DO SUCO DE ACEROLA A 8°BRIX

O material encontrado está disperso em meio aquoso e é sempre heterogêneo quanto ao aspecto físico, quanto à densidade de matéria sólida e quanto à natureza dos elementos presentes da fruta: epiderme, polpa, vasos condutores, paredes celulósicas vazias, etc.

A figura 48 apresenta as microfotografias do suco de acerola a 8°Brix previamente diluído e homogeneizado.

A foto 1 apresenta um campo contendo polpa de acerola. Estão delineadas cerca de 7 células (**C**) com paredes regularmente porosas (**ps**). O conteúdo celular foi extravasado.

A foto 2 apresenta um campo contendo polpa de acerola. Um vaso espiralado (**Λ**) atravessa toda a face superior da microfotografia. Os demais elementos da polpa estão particulados constituindo massas de tecido (**D**) em torno de 50 µm de diâmetro e igual quantidade de material fino (**p**) de até 10 µm de diâmetro.

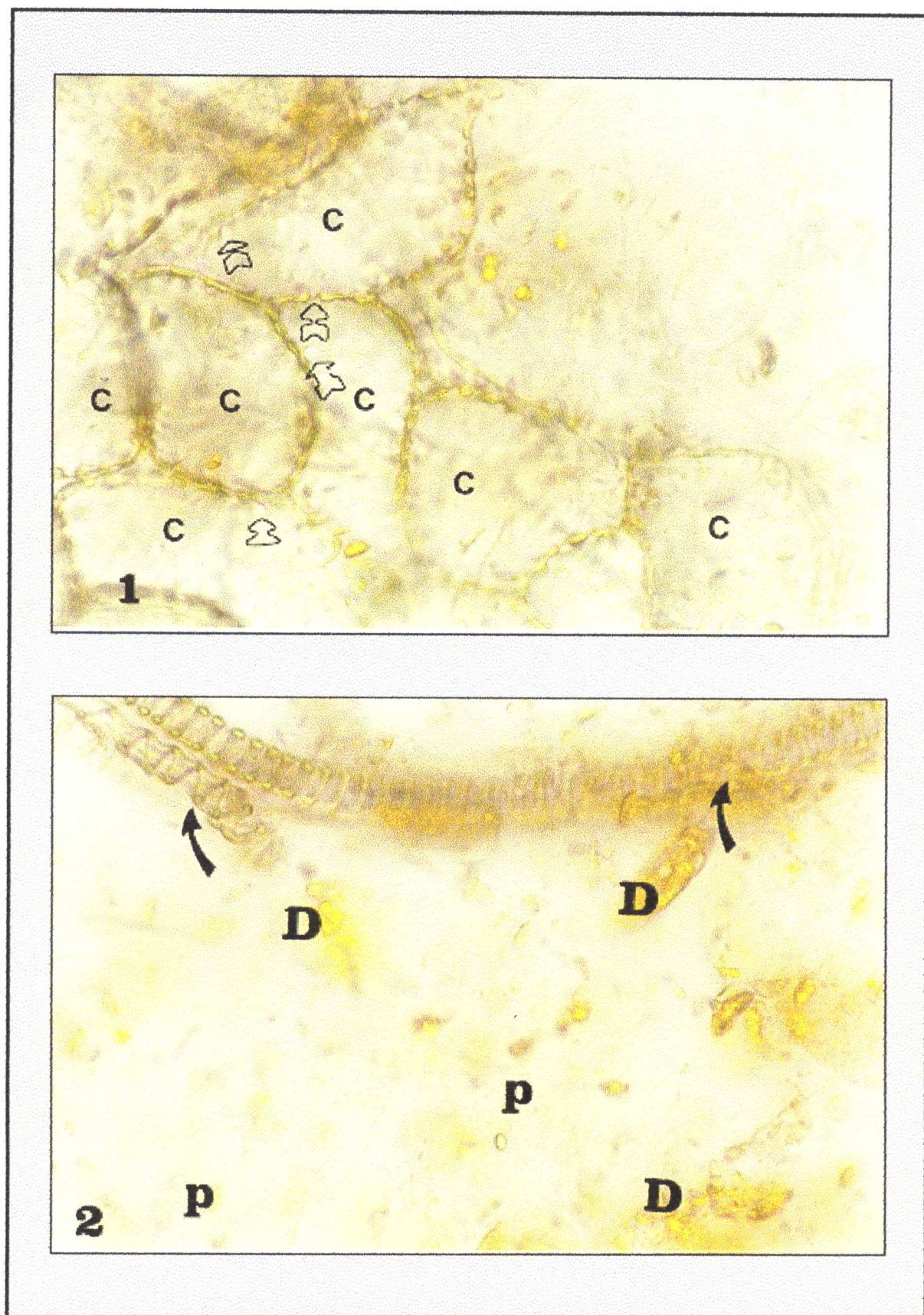


Figura 48 - Microfotografias das partículas do suco de acerola a 8°Brix

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- * Os resultados obtidos para as densidades nas concentrações de 8,0; 15,0; 21,0 e 27°Brix, encontram-se coerentes com os valores publicados na literatura.
- * Os resultados obtidos no calorímetro de mistura para a determinação do calor específico na temperatura de 30°C, situaram-se na faixa dos dados encontrados em literatura, embora na concentração de 15°Brix, o valor obtido foi maior que o esperado. Salientando ainda, que os resultados encontrados por modelos empíricos foram maiores para todas as concentrações em estudo, em relação aos valores experimentais. Já para a temperatura de 50°C, os resultados experimentais obtidos foram bem elevados, fenômeno este também observado no calorímetro DSC. Conclui-se que possa ter ocorrido alguma reação aproximadamente acima de 40°C, merecendo um estudo mais detalhado. Sugere-se, para trabalhos futuros, novas tentativas, com a finalidade de refinar o método empregado com instrumentos de maior sensibilidade, necessitando-se de mais ensaios calorimétricos a fim de que se possa obter resultados mais conclusivos e relevantes.
- * Constatou-se que os resultados obtidos para a difusividade térmica foram satisfatórios, mostrando que o método de DICKERSON (1965) se adequa perfeitamente para sucos de fruta. Os valores experimentais foram cerca de 10% a 15% superiores aos valores preditos.
- * Os resultados obtidos para a condutividade térmica, mostraram tendências pouco definidas no que se refere à concentração de 15°Brix, devido à dependência da propriedade calor específico. No entanto, os resultados calculados estão coerentes com a literatura, ou seja, em uma mesma faixa de algumas frutas apresentadas.
- * O suco de acerola nas faixas de temperatura e concentração estudadas, apresenta um forte comportamento não-Newtoniano com características pseudoplásticas.

- * Os parâmetros índice de consistência (K) e a viscosidade aparente (η_a) podem ser correlacionados em função da temperatura através de relações do tipo exponencial e em função da concentração através de relações do tipo potência.
- * O comportamento do parâmetro K pode ser descrito como uma função da temperatura, teor de polpa suspensa, tamanho médio das partículas suspensas, conteúdo de pectina e de sólidos solúveis do suco.
- * Nota-se uma variação apreciável no valor do índice de comportamento de fluxo (n), mas sem uma tendência definida em relação a concentração e temperatura, com valores na faixa de 0,18 a 0,29.
- * Análise microscópica realizada para a concentração de 8°Brix, indica que o material encontrado é heterogêneo constituindo massas de tecido na faixa de 10 μm a 50 μm .
- * Como sugestão, a caracterização reológica poderia ser ampliada para outras condições de processos, bem como análises do efeito dos diâmetros das partículas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADORNO, R.A.C. Reologia de sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba. Campinas, 1997. 173p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- ALVARADO, J.D.; ROMERO, C.H. Physical properties of fruits I - II. Density and viscosity of juices as functions of soluble solids content and temperature. Latin American Applied Research, 19: 15-21, 1989.
- ALVARADO, J.D. Propiedades físicas de frutas. IV. Difusividad y conductividad termica efectiva de pulpas. Latin American Applied Research, 24: 41-47, 1994.
- ANDRADE, J.S.; GALEAZI, M.A.M.; ARAGÃO, C.G.; CHAVEZ-FLORES, W.B. Valor nutricional do camu-camu [*Myrciaria dubia* (H. B. K.) Mc. Vaugh] cultivado em terra firme da Amazônia Central. Revista Brasileira de Fruticultura, Cruz das Almas, 13 (3): 307-311, 1991.
- ANGELUCCI, E.; ARIMA, H.K.; MANTOVANI, D.M.B.; FIGUEIREDO, I.B. Análise Química de Café. Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 1982.
- ARAÚJO, P.S.R.; MINAMI, K. Acerola. Campinas: Fundação Cargill, 1994. 81p.
- ASENJO, C.F.; MOSCOSO, C.G. Ascorbic acid content and other characteristics of the West Indian Cherry. Food Research, v.15, p. 103-106, 1950.
- ASENJO, C.F. Acerola. In: NAGY, S.; SHAW, P.E. Tropical and subtropical fruits: composition, properties and uses. Westport: AVI, p. 341-374, 1980.
- ASENJO, C.F.; GUZMÁN, A.R.F. The high ascorbic acid content of the West Indian Cherry. Science, Washington, v.103, p. 219, 1946.
- ASENJO, C.F.; PEÑALOZA, A.; MEDINA, P. Characterization of an ascorbase present in the fruit of the *Malpighia puniceifolia* L. Federation Proceedings, 19 (1), p.1, 1960.

- ASP, N.G.; JOHANSSON, C.G.; HALLMER, H.; SILJESTROM, M. Rapid enzymatic assay of insoluble dietary fiber. Journal Agriculture Food Chemistry, 31: 476-482, 1983.
- BENSIMON, C. Ojo al kiwi: ilegal la *Malpighia punicifolia*. Ceres - Revista de la FAO, 23 (6): 9-10, 1991.
- BHOWMIK, S.R.; HAJAKAWA, K. A new method for determining the apparent thermal diffusivity of thermally conductive food. Journal of Food Science, 44 (2): 469-474, 1979.
- BIRD, R.B.; STEWART, W.E.; LIGHTFOOT, E.N. Fenómenos de Transporte, Editorial Reverté, S.A., México, 1960.
- BRANCO, I.G. Suco de laranja concentrado-comportamento reológico a baixas temperaturas. Campinas, 1995. 91p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- CHOI, Y.; OKOS, M.R. Thermal properties of liquid foods - review. In: Physical and Chemical Properties of Food. Edited by OKOS, M.R. ASAE St. Joseph, Michigan, p. 35-77, 1986.
- COMPANHIA DE CÍTRICOS DO BRASIL S.A. Comunicação pessoal, Salvador, 1997.
- COSTELL, E.; CLEMENTE, G.; DURÁN, L. Reología físico química del puré de albaricoque. II. caracterización del flujo y las relación entre los parâmetros reológicos y las características químicas y físicas del producto. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment., 22 (4), 539-550, 1982.
- COUCEIRO, E.M. Curso de Extensão sobre a Cultura da Acerola. Recife: UFRPE, 1985, 45p.
- DERSE, P.H.; ELVEJHEM, C.A. Nutrient content of acerola, a rich source of vitamin C. Journal of the American Medical Association, v.156, p. 1501-1509, 1954.

- DICKERSON Jr., R.W. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. Food Technology, 19 (5): 198-204, 1965.
- 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 Res, 25: 203-210, 1960.
- FONSECA, H.; NOGUEIRA, J.N.; MARCONDES, A.M.S. Teor de ácido ascórbico e beta-caroteno em frutas e hortaliças brasileiras. Archivos Latinoamericanos de Nutricion 19 (1): 9-16, 1969.
- FORMAGGIO, G.J. Projeto, construção e ensaio de um viscosímetro capilar. Campinas, 1992. 87p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- FRANCO, G. Ácido ascórbico. In: FRANCO, G. Tabela de Composição Química dos Alimentos. 9ª ed., Atheneu, SP, p. 53-58, 1992.
- FREIRE, J.T.; GUBULIN, J.C.; TOBINAGA, S. Um equipamento para determinação da condutividade térmica. Rev. Ensino Eng., São Paulo, 3 (1): 25-29, 1984.
- GEHRKE, T. Reometria de suco concentrado de frutas. Campinas, 1996. 103p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- HAYES, C.F. Thermal diffusivity of papaya fruit (*Carica papaya* L., Var. Solo) Journal of Food Science, 49: 1219-1221, 1984.
- HENSE, H. Avaliação dos parâmetros termofísicos e cinética de congelamento de cação. Campinas, 1990. 167p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- HOLDSWORTH, S.D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. J. Texture Studies, 2 (4): 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, sept., 1993.
- HORWITZ, W. (ed.) Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., U.S.A, 13th ed., 1980.
- IBARZ, A.; GONSALEZ, C.; ESPLUGAS, S. Rheology of clarified fruit juice. III: orange juices. Journal of Food Engineering, 21 (4): 485-494, 1994.
- IBARZ, A.; GONSALEZ, C.; ESPLUGAS, S.; VICENTE, M. Rheology of clarified fruit juices. I: peach juices. Journal of Food Engineering, 15 (1): 49-61, 1992a.
- IBARZ, A.; PAGÁN, J.; GUTIÉRREZ, J.; VICENTE, M. Rheological properties of clarified pear juice concentrates. Journal of Food Engineering, 10 (1): 57-63, 1989.
- IBARZ, A.; PAGÁN, J.; MIGUELSANZ, R. Rheology of clarified fruit juices. II: blackcurrant juices. Journal of Food Engineering, 15 (1): 63-73, 1992b.
- ITOO, S.; AIBA, M.; ISHIHATA, K. Comparison of ascorbic acid content in acerola fruit from different production region depend on degree of maturity and it's stability by processing. Nippon Shokuhin Kagyo Gakkaishi, 37 (9): 726-729, 1990.
- JIMÉNEZ, G.; DURÁN, L. Propiedades reológicas de productos derivados de frutas y de tomate. Revisión bibliográfica. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, 19 (2), p. 203-216, 1979.
- KHALIL, K.E.; RAMAKRISHNA, P.; NANJUNDASWAMY, A.M.; PATWARDHAN, M.V. Rheological behaviour of clarified banana juice: effect of temperature and concentration. Journal of Food Engineering, 10 (3): 231-240, 1989.
- KLEEBOERG, H.F. Estudo comparativo dos parâmetros termodinâmicos e da cinética de congelamento de filé de pescada (*Cynoscion petranus*) cru e cozido. Campinas, 1986. 126p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

- KRIEGER, L.M.; ELROD, H. Direct Determination of the flow curves of Non-Newtonian fluids II. Shearing rate in the concentric cylinder viscosimeter. Journal Applied Physics, 2 (24): 134-136, 1952.
- LARA, A.B.W.; NAZÁRIO, G.; ALMEIDA, M.E.W.; PREGNOLATTO, W. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz - Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos. Instituto Adolfo Lutz, SP, v. 1, 2ª edição, 1976.
- LEDIN, R.B. The Barbados or West Indian Cherry. Florida Agricultural Experiment Station. (Bulletin 594), 1958, 28 p.
- LEME Jr., J.; FONSECA, H.; NOGUEIRA, J.N. Variação do teor de ácido ascórbico e beta-caroteno em cereja das Antilhas (*Malpighia punicifolia* L.) liofilizada. Archivos Latinoamericanos de Nutricion, 23 (2): 207-215, 1973.
- LEHNINGER, A.L. Vitaminas e coenzimas. In: _____. Bioquímica: v.1. Componentes moleculares das células. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 1977. Cap. 13, p. 240-241.
- MATSUURA, F.C.A. Processamento e caracterização de suco integral e concentrado congelado de acerola. Campinas, 1994. 141p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- MATTEA, M.; URBICAIN, M.J.; ROTSTEIN, E. Prediction of thermal conductivity of vegetable foods by the effective medium theory. Journal of Food Science, 51 (1): 113-115, 1986.
- MILLAN, R.; CARDONA, A.; CASTELO, M.; SANJUAN, E.; GOMEZ, R.; ALCALA, M. Actividad del agua en zumos de frutas. Alimentacion Equipes y Tecnologia, p. 89-92, Octubre, 1993.
- MILLER, C.D.; WENKAM, N.S.; FITTING, K.O. Acerola nutritive value an home use. Hawaii Agricultural Experiment Station (Circular, 59), 1961, 18p.
- MOHSENIN, N.N. Thermal Properties of Foods and Agricultural Materials. Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York, 1980, 407p.

- MOSER, U.; BENDICH, A. Vitamin C. In: Machlin, L.J., ed Handbook of Vitamins. Marcel Dekker, Ins, p. 195-227, 1991.
- MUSTARD, M.J. The ascorbic acid content of some *Malpighia* fruits and jellies. Science, Washington, v. 104, p. 230-231, 1946.
- NAKASONE, H.Y.; MIYASHITA, R.K.; YAMANE, G.M. Factors affecting ascorbic acid content of the acerola (*Malpighia glabra* L.). Proceedings of the American Society Horticultural Science, v. 89, p. 161-166, 1966.
- NIEVA, F.S. Extraction, processing, canning and keeping quality of acerola juice. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, Rio Piedras, 39 (4): 175-183, 1955.
- OLIVA, P.B. Estudo do armazenamento da acerola in natura e estabilidade do néctar de acerola. Campinas, 1995. 103p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- PANTASTICO, E.B.; CHATTOPADHYAY, T.K.; SUBRAMANYAM, H. Storage and commercial storage operations. In Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables. PANTASTICO, E.B., Ed., AVI Publishing, Westport, Conn., 1975a, 560p.
- PANTASTICO, E.B.; SUBRAMANYAM, H.; BHATTI, M.B.; ALI, N.; AKAMINE, E. K. Postharvest physiology: harvest indices. In Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables. PANTASTICO, E.B., Ed., AVI Publishing, Westport, Conn., 1975b, 560p.
- PEARSON, D. The Chemical Analysis of Foods. J. & A. CHURCHILL, London 6th ed., 1970.
- PEARSON, D. Laboratory Techniques in Food Analysis, London Butterworths, London, 1973.
- PIETROBON, C.L.R.; PEREIRA, N.C.; FREIRE, J.T. Determinação da condutividade térmica I. Análise experimental. Anais do XV Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos - 87. v.1, p. 150-161. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 1988.

- RAO, M.A. Rheology of liquid foods - a review. Journal of Texture Studies, 8 (2): 135-168, 1977.
- RAO, M.A. Rheological properties of fluid foods In: Engineering Properties of Foods. Edited by RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H., p. 1-47, Marcel Dekker, Inc., New York, 1986.
- RAO, M.A.; BOURNE, M.C.; COOLEY, H.J. Flow properties of tomato concentrates. Journal of Texture Studies, 12 (4): 521-538, 1981.
- RAO, M.A.; COOLEY, H.J.; VITALI, A.A. Flow properties of concentrated juices at low temperatures. Food Technology, 38 (3): 113-119, 1984.
- RAO, M.A.; PALOMINO, L.N.O. Flow properties of tropical fruit purees. Journal of Food Science, 39 (1): 160-161, 1974.
- REDD, J.B.; HENDRIX Jr., C.M.; HENDRIX, D.L. Quality control manual for citrus processing plants. Flórida, Intercit, 1: 36-37, 1986.
- SÁ, M.M.; FIGUEIREDO, A.M.; CORREA, A.; SERENO, A.M. Apparent heat capacities, initial melting points and heats of melting of frozen fruits measured by differential scanning calorimetry. Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 34 (2): 202-209, 1994.
- SALUNKHE, D.K.; DESAI, B.B. Postharvest Biotechnology of Fruits. Boca Raton, CRC Press, v. II, 1984.
- SARAVACOS, G.D. Tube viscometry of fruit purees and juices. Food Technology, 22 (12): 1585-1588, 1968.
- SARAVACOS, G.D. Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. Journal of Food Science, 35 (2): 122-125, 1970.
- SERENO, A.M. Comunicação pessoal, Porto, 1996.
- SILVA, S.B. Propriedades termofísicas de polpa de abacaxi. Campinas, 1997. 93p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

- SIMÃO, S. Cereja das Antilhas. In: SIMÃO, S. Manual de Fruticultura. Ed. Ceres, São Paulo, p. 477-485, 1971.
- SPIEGEL, M.R. Estatística, 3ª ed. Schaum, McGraw-Hill, 643p., 1994.
- STAHL, A.L.; KAPLOW, M.; NELSON, R. The present status and future possibilities of Barbados Cherries. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, Winter Heaven, v.68, p. 138-143, 1955/56.
- STATSOFT. STATISTICA 5.0. Tulsa, 1994. 10 disquetes (Nonlinear Estimation-loss functions).
- STEFFE, J.F. Rheological Methods in Food Process Engineering. East Lansing: Freeman Press, 1992. 226p.
- STEFFE, J.F.; MOHAMED, I.O.; FORD, E.W. Rheological properties of fluid foods: data compilation. In: Physical and Chemical Properties of Food. Edited by OKOS, M.R. ASAE St. Joseph, Michigan, p. 1-13, 1986.
- SUNDFELD, E. Propriedades reológicas do suco clarificado de caju (*Anacardium occidentale*, Linn), Campinas, 1994. 80p. (Exame de Qualificação para Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- SWEAT, V.E. Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables. Journal of Food Science, 39 (6): 1080-1083, 1974.
- SWEAT, V.E. Thermal properties of foods. In: Engineering Properties of Foods. Edited by RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H., p. 49-87, Marcel Dekker, Inc., New York, 1986.
- WANG, D.Q.; KOLBE, E. Thermal properties of surime analyzed using DSC. Journal of Food Science, 56 (2): 302-308, 1991.
- WANG, N.; BRENNAN, J.G. The influence of moisture content and temperature on the specific heat of potato measured by differential scanning calorimetry. Journal of Food Engineering, 19 (3): 303-310, 1993.

APÊNDICE

APÊNDICE A

RESULTADOS OBTIDOS PELO EQUIPAMENTO DSC

Os ensaios calorimétricos foram realizados em um calorímetro diferencial de varredura (Mettler - TA 4000), computadorizado, o qual pertence a empresa Rhodia S.A. (grupo Rhône-Poulenc) - centro de pesquisa, Paulínia-SP.

Para a realização do experimento foram necessários:

- Calibração: efetuada através de uma cápsula de metal puro “índio”, o qual implica na verificação de seu ponto de fusão.
- Balança de marca (Mettler M3) de 0 a 150 mg com 4 decimais.
- Cápsula de aço inox: utilizada para a amostra e para a referência (vazia).
- As análises calorimétricas foram efetuadas a uma taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ até 70°C .

Para se obter melhores resultados, SERENO (1996) de forma particular, sugeriu que o experimento deveria ser conduzido a uma taxa de $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$, com o objetivo de reduzir o erro ocasionado pelo inevitável atraso na resposta do sistema e se possível trabalhar numa gama de temperatura mais baixa ($40 - 45^{\circ}\text{C}$).

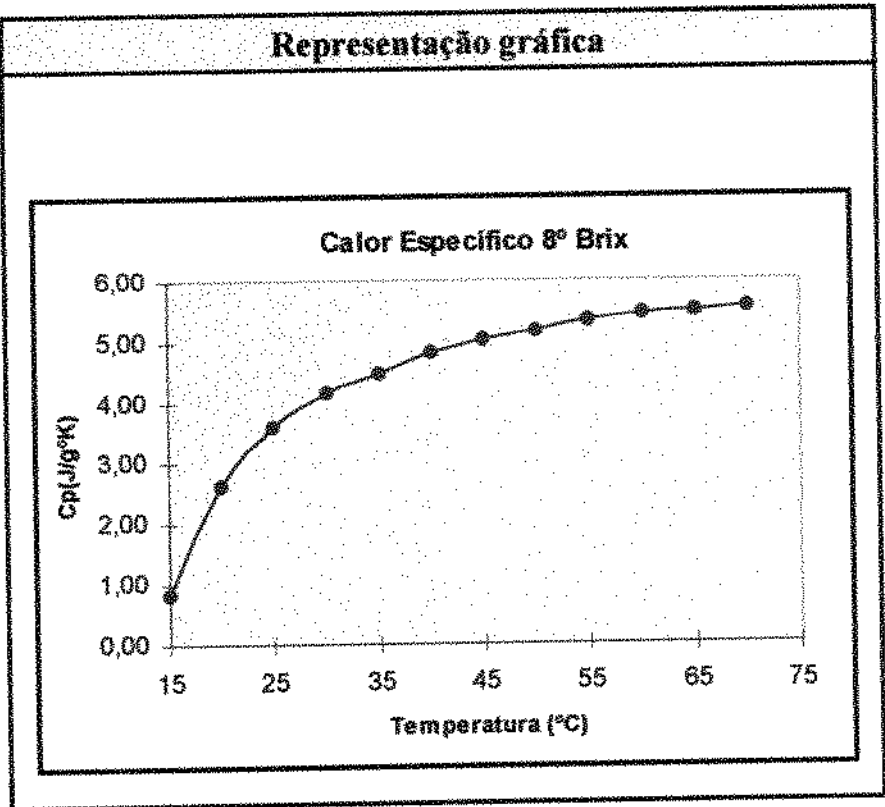
Os resultados obtidos pelo equipamento DSC, encontram-se apresentados nas figuras A1, A2 e A3 com suas respectivas tabelas.

Amostra: 1	
Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)
15	0,82
20	2,89
25	3,97
30	4,59
35	4,82
40	5,31
45	5,51
50	5,70
55	5,84
60	5,99
65	6,03
70	6,13

Amostra: 2	
Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)
15	0,62
20	2,17
25	3,02
30	3,52
35	3,86
40	4,11
45	4,32
50	4,44
55	4,60
60	4,66
65	4,71
70	4,75

Amostra: 3	
Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)
15	1,02
20	2,87
25	3,81
30	4,35
35	4,71
40	5,01
45	5,22
50	5,41
55	5,55
60	5,68
65	5,74
70	5,79

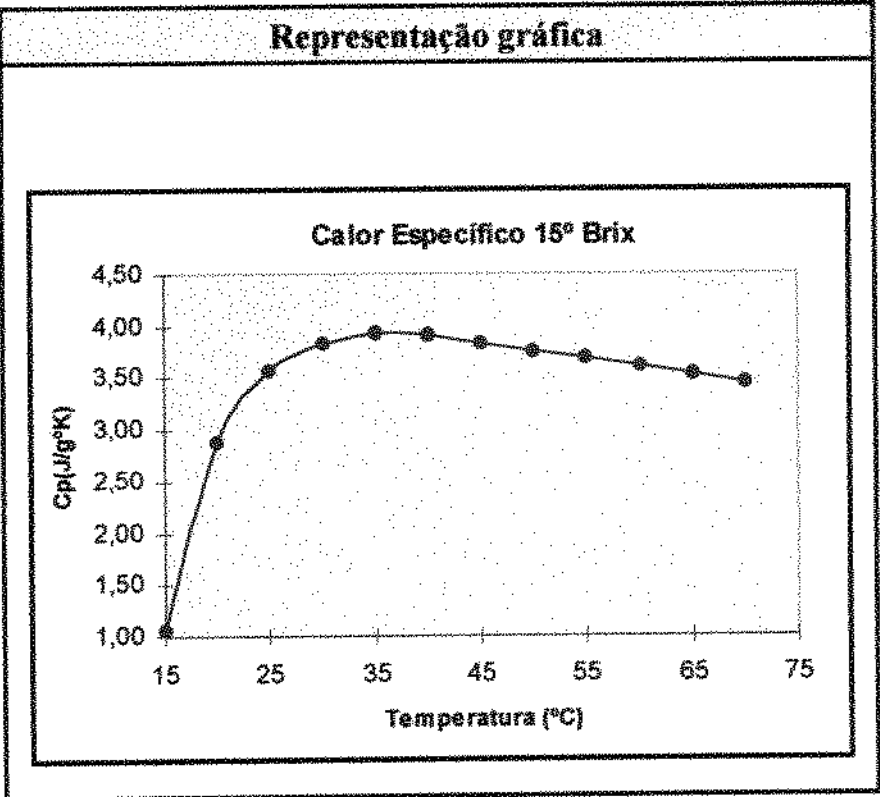
Média das Amostras	
Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)
15	0,82
20	2,64
25	3,60
30	4,15
35	4,46
40	4,81
45	5,02
50	5,18
55	5,33
60	5,44
65	5,49
70	5,56



A1 - Representação gráfica de calor específico referente à concentração de 8°Brix obtido pelo DSC

Amostra: 1		Amostra: 2		Amostra: 3	
Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)	Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)	Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)
15	0,77	15	1,19	15	1,24
20	2,61	20	2,96	20	3,06
25	3,40	25	3,62	25	3,69
30	3,70	30	3,87	30	3,96
35	3,83	35	3,94	35	4,05
40	3,81	40	3,90	40	4,03
45	3,74	45	3,79	45	4,00
50	3,68	50	3,69	50	3,92
55	3,59	55	3,61	55	3,87
60	3,51	60	3,48	60	3,81
65	3,43	65	3,41	65	3,74
70	3,34	70	3,31	70	3,69

Média das Amostras	
Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)
15	1,07
20	2,88
25	3,57
30	3,84
35	3,94
40	3,91
45	3,84
50	3,76
55	3,69
60	3,60
65	3,53
70	3,45



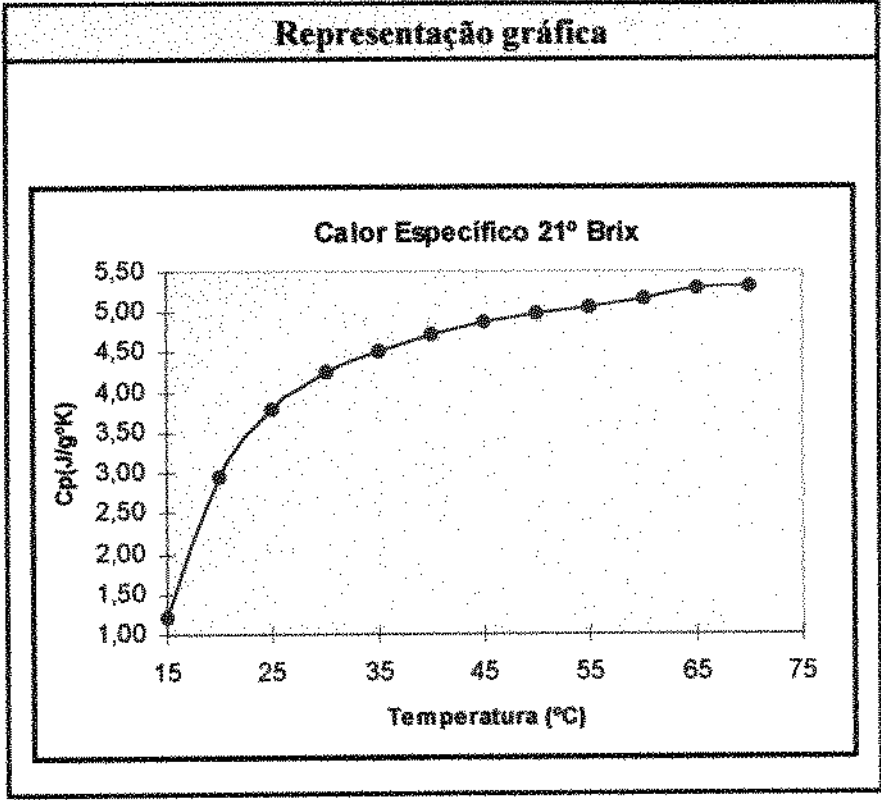
A2 - Representação gráfica de calor específico referente à concentração de 15°Brix obtido pelo DSC

Amostra: 1	
Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)
15	0,72
20	2,51
25	3,46
30	3,99
35	4,34
40	4,61
45	4,80
50	4,95
55	5,06
60	5,15
65	5,18
70	5,22

Amostra: 2	
Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)
15	1,66
20	3,39
25	4,19
30	4,68
35	4,93
40	5,14
45	5,31
50	5,46
55	5,52
60	5,59
65	5,86
70	5,87

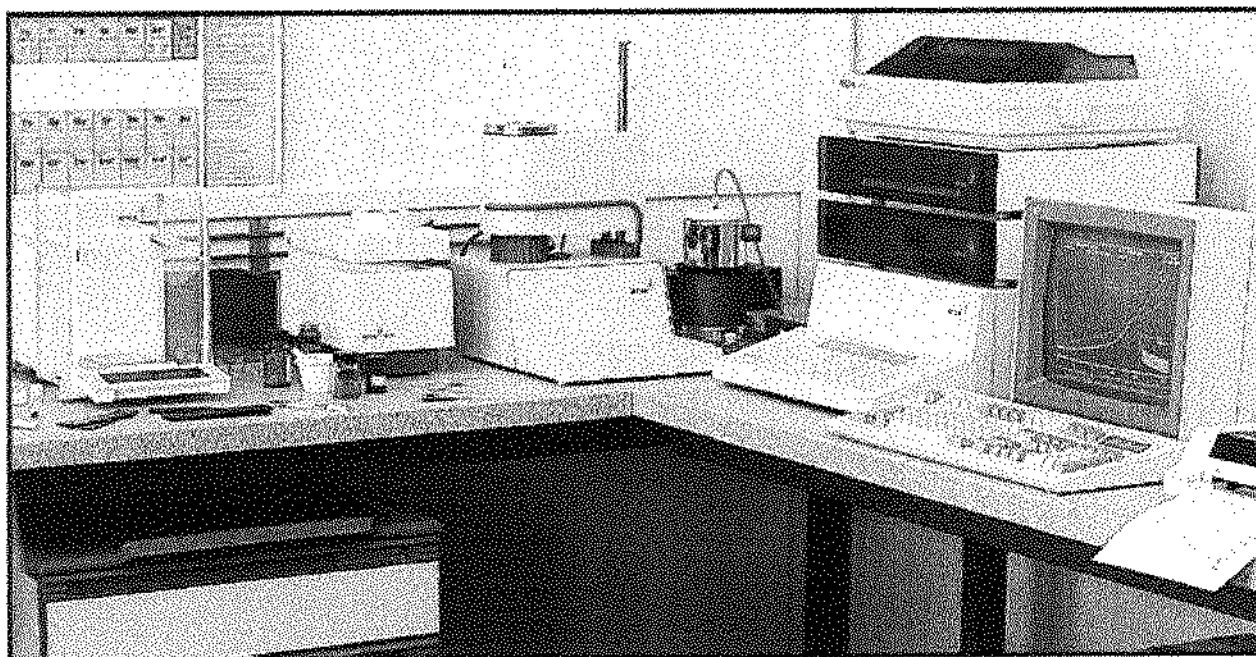
Amostra: 3	
Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)
15	1,26
20	2,97
25	3,71
30	4,06
35	4,26
40	4,37
45	4,49
50	4,57
55	4,63
60	4,70
65	4,81
70	4,90

Média das Amostras	
Temperatura (°C)	Cp (J/g.K)
15	1,21
20	2,96
25	3,79
30	4,24
35	4,51
40	4,71
45	4,87
50	4,99
55	5,07
60	5,15
65	5,28
70	5,33



A3 - Representação gráfica de calor específico referente à concentração de 21°Brix obtido pelo DSC

A figura A4 apresenta o equipamento Differential Scanning Calorimetry (DSC) utilizado para a determinação do calor específico (C_p).



A4 - Fotografia do equipamento DSC

ANEXOS

ANEXO A

MÉTODOS DE ANÁLISES QUÍMICAS

pH

1- Introdução

O pH pode ser determinado por dois processos: o colorimétrico e o eletrométrico. A determinação colorimétrica emprega indicadores coloridos ou papel de filtro impregnado com corantes que mudam de cor em função da concentração hidrogeniônica (pH). Este processo permite apenas medir aproximadamente o pH e não é aplicado às soluções coloridas ou muito turvas ou soluções absorventes, dando resultados falsos.

O processo eletrométrico exige calibração do aparelho com soluções - padrão e aplica-se para todos os casos, inclusive para soluções coloridas ou turvas.

2 - Princípio do método

Baseia-se na determinação da concentração hidrogeniônica (pH), usando o potenciômetro.

3 - Objetivo

Determinar o pH em bebidas não-alcoólicas.

4 - Aparelhagem

- Potenciômetro - modelo TE - 902 DIGIMED, marca TECNAL.

5 - Material

- Béquer de 50 ml.

6 - Reagentes

- Solução-tampão pH = 4,0;

- Solução-tampão pH = 7,0.

7 - Procedimento

Calibrar o potenciômetro usando as duas soluções-tampão, a 20°C. Imergir o eletrodo no Béquer que contém a amostra e fazer a leitura a 20°C. Caso a amostra seja sólida, dissolver em água.

8 - Resultado

A leitura do pH é feita diretamente.

9 - Expressão do resultado

Expressar em unidade de pH, acompanhada de décimos ou centésimos, dependendo da escala do potenciômetro.

ACIDEZ TOTAL

1- Introdução

A acidez total (fixa e volátil) em uma bebida não alcoólica é resultante dos ácidos orgânicos do próprio alimento, dos adicionados intencionalmente durante o processamento e daqueles resultantes das alterações químicas do produto. Portanto, a determinação da acidez total pode fornecer dados valiosos na apreciação do processamento e do estado de conservação da bebida.

2 - Princípio do método

Os métodos que avaliam a acidez total resumem-se em titular com solução padronizada de álcali a acidez de bebida não alcoólica, empregando a fenolftaleína como indicador do ponto final da titulação.

Um potenciômetro pode ser usado na titulação, até que a solução atinja 8,1, que é o ponto de viragem da fenolftaleína.

3 - Objetivo

Determinar a acidez total em bebidas não-alcoólicas.

4 - Aparelhagem

Potenciômetro.

5 - Material

- Pipeta volumétrica de 10 ml;
- Bureta de 25 cm com divisões de 0,1 ml;
- Erlenmeyer de 250 ml ou béquer de 150 ml.

6 - Reagentes

- Solução de hidróxido de sódio 0,1N;
- Solução de fenolftaleína a 1% em álcool etílico, neutralizada com hidróxido de sódio até cor ligeiramente rosa.

7 - Procedimento

Pipetar 10 ml (ou pesar quantidades conveniente) da amostra em Erlenmeyer ou béquer) e juntar 90 ml de água destilada.

Titular com solução de hidróxido de sódio até coloração rosa, empregando-se 2 ou 3 gotas de fenolftaleína ou potenciômetro até pH 8,1.

8 - Cálculos e resultados

$$\text{g de ácido cítrico anidro/100 ml} = \frac{\text{ml de NaOH} \times N \times 64 \times 100}{\text{ml de amostra} \times 100}$$

onde: N = normalidade da solução de NaOH

6,4 = equivalente-grama do ácido cítrico anidro

9 - Expressão do resultado

Geralmente é expresso em g ácido cítrico anidro/100 ml. Quando o ácido predominante é conhecido, o resultado deve ser expresso em g do ácido predominante/100 ml.

Expressar os resultados em:

g/100 ml ou em g/100 g

BRIX

1 - Introdução

Os índices de refração de soluções aquosas de sacarose p.a. a 20°C podem ser correlacionados com seu teor de sacarose. Tem-se, assim, uma correspondência entre índices de refração e porcentagem de sacarose, à qual se dá o nome de graus Brix. Na prática, usa-se a leitura refratométrica, ou o correspondente grau Brix, para expressar os sólidos solúveis em bebidas não-alcoólicas.

2 - Princípio

Fundamenta-se na leitura refratométrica direta dos graus Brix da amostra a 20°C.

3 - Objetivo

Determinar o Brix em bebidas não-alcoólicas.

4 - Aparelhagem

- Refratômetro modelo ZEISS a temperatura de 20°C.

5 - Procedimento

Colocar uma a duas gotas de amostra entre os primas do refratômetro, esperar um minuto e fazer a leitura.

6 - Cálculos

6.1 - Caso a leitura seja feita a 20°C e a acidez total da amostra for inferior a 1%, o valor do Brix é a leitura direta.

6.2 - Caso a leitura refratométrica seja feita em temperatura diferente de 20°C, anotar a temperatura e fazer a correção do Brix em função de temperatura, com auxílio de uma tabela.

6.3 - Caso o produto tenha teor de acidez total igual ou superior a 1%, fazer a correção do Brix em função da acidez total, com auxílio de uma tabela.

7 - Expressão do resultado

Expressar em °Brix.

SÓLIDOS SOLÚVEIS, INSOLÚVEIS E TOTAIS

1 - Introdução

O teor de sólidos insolúveis presentes em bebidas não-alcoólicas compreende vários componentes, tais como: celulose, hemicelulose, pentosanas, lignina, amido, pectina, proteínas, sais inorgânicos e outros. Os açúcares, sais, ácidos, algumas proteínas e outros, são componentes solúveis.

2 - Princípio

Baseia-se na filtração da amostra dissolvida em água quente, retenção dos sólidos insolúveis em papel de filtro e evaporação do filtrado que contém os sólidos solúveis.

3 - Objetivo

Determinar o teor de sólidos solúveis, insolúveis e totais, em bebidas não alcoólicas.

4 - Aparelhagem

- Balança analítica;
- Banho-maria;
- Estufa.

5 - Material

- Béquer de 600 ml sem bico;
- Proveta de 250 ml;
- Dessecador;
- Pesa-filtro;
- Filtro de vidro;
- Cápsula de porcelana;
- Pipetas de 50 e 100 ml;
- Papel de filtro Whatman nº 4 e 12,5 cm de diâmetro ou equivalente (previamente lavado com água quente, colocado em pesa filtro e aquecido a 100 - 105°C durante uma hora, depois resfriado em dessecador a temperatura ambiente e pesado).

6 - Procedimento

6.1 - Sólidos solúveis

Pesar 50 g de amostra em béquer de 600 ml, cobrir com vidro de relógio, juntar 200 ml de água quente e aquecer até ebulição durante 20 minutos, repondo a água evaporada. Filtrar em papel de filtro tarado e receber o filtrado em balão volumétrico de 1000 ml. Lavar o béquer e o precipitado do papel de filtro com 800 ml de água quente.

Deixar o balão volumétrico esfriar a temperatura ambiente, completar o volume com água e homogeneizar. Pipetar 100 ml em cápsula de porcelana tarada (previamente aquecida em estufa a 100 - 105°C durante 1 hora e pesada) e evaporar em banho-maria até secagem. Retirar a cápsula e colocar em estufa a 70°C e vácuo de no mínimo 50 mm Hg por 1 hora. Retirar a cápsula, colocar em dessecador, deixar esfriar e pesar, Repetir a operação até obter peso constante do resíduo solúvel.

6.2 - Sólidos insolúveis

Colocar o papel de filtro do item 6.1 no pesa-filtro e deixar em estufa a 100 - 105°C durante uma hora, resfriar em dessecador a temperatura ambiente e pesar. Repetir a operação até obter peso constante do resíduo insolúvel.

7 - Cálculos

7.1 - Sólidos solúveis

$$\text{g sólidos solúveis/100 g} = \frac{\text{g de resíduo solúvel} \times 1000}{\text{g de amostra}}$$

7.2 - Sólidos insolúveis

$$\text{g de sólidos insolúveis/100 g} = \frac{\text{g de resíduo insolúvel} \times 1000}{\text{g de amostra}}$$

7.3 - Sólidos totais

$$\text{sólidos totais} = \text{sólidos solúveis} + \text{sólidos insolúveis}$$

8 - Expressão do resultado

Expressar os resultados em:

8.1 - Sólidos solúveis em g/100 g

8.2 - Sólidos insolúveis em g/100 g

8.3 - Sólidos totais em g/100 g

AÇÚCARES REDUTORES, NÃO REDUTORES E TOTAIS

1 - Princípio do método

Fundamenta-se na redução de íons de cobre bivalente, em meio básico, pelos açúcares redutores, glicose e frutose.

2 - Objetivo

O presente método determina o teor de açúcares redutores, totais e não-redutores em bebidas não-alcoólicas.

3 - Aparelhagem

- Balança analítica;
- Chapa de aquecimento;
- Trompa de vácuo;
- Estufa;
- Banho-maria.

4 - Material

- Balões volumétricos de 100, 250 e 500 ml;
- Erlenmeyers de 250 e 500 ml;
- Funil;
- Papel de filtro qualitativo
- Kitassato;
- Cadinho com placa de porcelana porosa P-2 ou G-4;
- Pipetas volumétricas de 5, 20 e 25 ml;
- Dessecador;
- Bagueta de vidro recoberta com borracha;
- Papel de pH universal;
- Termômetro.

5 - Reagentes

- Solução de ferrocianeto de potássio 0,25M;
- Solução de acetato de zinco 1,0 M;
- Solução de hidróxido de sódio 35% p/p;
- Solução de hidróxido de sódio 1N;
- Ácido sulfúrico concentrado p.a.;
- Ácido clorídrico concentrado p.a.;
- Etanol p.a.;
- Éter etílico p.a.;
- Solução A de Fehling: dissolver 34,639 g de sulfato de cobre pentahidrato em água, transferir para balão volumétrico de 500 ml, adicionar 0,5 ml de ácido sulfúrico concentrado e completar o volume;
- Solução B de Fehling: dissolver 172,0 g de tartarato de sódio e potássio e 50,0 g de hidróxido de sódio em água, transferir para balão volumétrico de 500 ml e completar o volume.

6 - Procedimento

6.1 - Preparo da amostra

Pipetar 25 ml de amostra (ou pesar quantidade conveniente) e transferir para balão volumétrico de 250 ml com cerca de 100 ml de água destilada;

Neutralizar com solução de hidróxido de sódio até $\text{pH} \leq 7,0$;

Adicionar 6 ml de solução de ferrocianeto de potássio e 7 ml da solução de acetato de zinco. Agitar, completar o volume e filtrar para Erlenmeyer de 500 ml.

6.2 - Açúcares redutores

Preparar solução de Fehling, juntando 25 ml da solução A, 25 ml da solução B e 50 ml de água destilada;

Aquecer a solução de modo que entre em ebulição dentro de 4 minutos;

Adicionar alíquota de 10 ml do filtrado obtido em 6.1 e deixar em ebulição exatamente durante 2 minutos;

Filtrar a vácuo, em cadinho previamente tarado, lavar cuidadosamente o erlenmeyer e o cadinho com água a 50°C, com 10 ml de etanol e 10 ml de éter etílico;

Secar em estufa a 105°C durante 1 hora, esfriar em dessecador e pesar o óxido cuproso.

6.3 - Açúcares invertidos

Pipetar 50 ml do filtrado obtido em 6.1 em balão volumétrico de 100 ml, adicionar 5 ml de ácido clorídrico concentrado, aquecer durante 5 minutos à temperatura de 68 - 70°C e esfriar rapidamente;

Neutralizar o pH $\leq 7,0$ com solução de hidróxido de sódio 35% empregando:

papel de pH e completar o volume;

Proceder como no item 6.2, usando alíquota de 10 ml deste hidrolisado.

7 - Cálculo

7.1 - Açúcares redutores

Com os mg de óxido cuproso (Cu_2O) obtidos no item 6.2, entrar na tabela e obter mg de glicose.

$$\text{g de açúcares redutores/100 ml} = \frac{\text{mg glicose} \times 250 \times 100}{\text{ml de amostra} \times 10 \times 1000}$$

7.2 - Açúcares não-redutores expressos em sacarose

Com os mg de Cu_2O obtidos no item 6.3, entrar na tabela e obter mg de "açúcar invertido"

$$\text{g de açúcares invertidos /100 ml} = \frac{\text{mg açúcar invertido} \times 250 \times 100 \times 100}{\text{ml de amostra} \times 1000 \times 50 \times 10}$$

$$\text{g de açúcares não-redutores/100 ml} = (\text{açúcares invertidos} - \text{açúcares redutores}) \times 0,95 = \text{sacarose}$$

7.3 - Açúcares totais

$$\text{açúcares totais} = \text{açúcares redutores} + \text{sacarose.}$$

8 - Expressão dos resultados

Expressar açúcares redutores, sacarose (açúcares não-redutores) e açúcares totais em g/100 ml ou em g/100 g.

FIBRA

1 - Introdução

Entende-se por fibra dietética, todos os constituintes dos alimentos resistentes à ação hidrolítica das enzimas digestivas, pela sua própria estrutura ou por terem sofrido modificação física e químicas, espontâneas ou provocadas.

Podemos dividir os componentes da fibra dietética nos seguintes grupos de substâncias naturais: celulose, hemiceluloses (xilanas, glicomananas); substâncias pécicas (galacturonanas, arabinanas, galactanas, arabinogalactanas); xiloglicanas (amilóides); ligninas (polímeros fenólicos); componentes da pele e do pelo dos animais,

Além desses constituintes naturais, podemos encontrar ainda em alimentos processados, polissacarídeos indigeríveis usados como aditivos (polissacarídeos derivados de algas ou “gomas”, celuloses modificadas, amidos modificados, plásticos).

O problema que existe em relação à fibra dietética é a ausência de método adequado para a sua quantificação e caracterização. Dentre os métodos propostos para a avaliação da fibra dietética, podemos distinguir:

- a) Métodos baseados no resíduo da digestão enzimática
- b) Métodos baseados no resíduo de extração por detergentes

2 - Princípio do Método Enzimático para a Determinação de Fibra Dietária

Este método é usado para a determinação de fibras dietárias solúveis e insolúveis.

O procedimento inclui várias etapas:

2.1- Gelatinização do amido na presença de uma α amilase termo-resistente, “Termamyl” (enzima α amilase de origem microbiana, estável ao calor - *Aspergillus oryzae*)

2.2- Incubação com pepsina em pH ácido por uma hora de incubação com pancreatina em pH neutro por uma hora. Fibras insolúveis são filtradas com celite em cadinhos próprios. As fibras solúveis do filtrado são precipitadas com 4 volumes de etanol e recuperadas por filtração da mesma maneira que as insolúveis. O amido é praticamente todo solubilizado.

3 - Reagentes:

- 1- Tampão fosfato 0,1M pH = 6,0
- 2- HCl 4M
- 3- NaOH 4M
- 4- Etanol 95%
- 5- Etanol 78%
- 6- Acetona puríssima

4 - Enzimas:

- 1- Termamyl 60L (120L)
- 2- Pepsina NF
- 3- Pancreatina 4 x NF

5- Procedimento

Preparação das amostras:

- 1- Amostras úmidas, homogeneizar e liofilizar.
- 2- Extrair gordura, quando as amostras excederem a 8% de gordura.
- 3- Pesar 1g de amostra e transferir para frasco de erlenmeyer. Adicionar 25 ml de tampão fosfato 0,1M pH = 6,0 e agitar levemente.
- 4- Adicionar 100 μ L (0,1 ml) de Termamyl (preta) ou 40 μ L (âmbar). Cobrir o frasco com parafilme e incubar em banho fervente por 15 minutos. Agitar ocasionalmente.
- 5- Deixar esfriar. Adicionar 20 ml de água destilada e ajustar o pH a 1,5 com HCl 4M.
- 6- Adicionar 100 mg (0,1g) de pepsina. Cobrir o frasco e incubar a 40°C em banho com agitação por 60 minutos.
- 7- Adicionar 20 ml de água destilada e ajustar o pH a 6,8 com NaOH 4M.
- 8- Adicionar 100 mg de pancreatina e incubar a 40°C em banho por 60 minutos.
- 9- Ajustar o pH a 4,5 com HCl 4M.
- 10- Filtre em um cadinho seco e tarado com 0,5 - 1g de celite seca. Lavar com 10 ml de água destilada por 2 vezes.

A) Resíduo (Fibra Insolúvel)

- 11- Lavar com 10 ml de etanol 95% por 2 vezes e com 10 ml de acetona por 2 vezes.
- 12- Secar em estufa a 105°C até peso constante ou overnight. Pesar depois de frio em dessecador (D1).
- 13- Incinerar a 550°C por 5 horas. Pese depois de frio em dessecador (I1).

B) Filtrado (Fibra Solúvel)

- 14- Ajustar o volume do combinado filtrado mais as águas de lavagens para 100 ml.
- 15- Adicionar 400 ml de etanol 95% morno. Deixar precipitar por 1 hora ou menos (overnight).
- 16- Filtrar em cadinho seco e de peso conhecido com 0,5g de celite.
- 17- Lavar com 10 ml de etanol 78% por 2 vezes, 10 ml de etanol 95% por 2 vezes e 10 ml de acetona por 2 vezes.
- 18- Secar a 105°C overnight. Pesar depois de frio em dessecador (D2).
- 19- Incinerar a 550°C por 5 horas. Pese depois de frio em dessecador (I2).

C) Branco

Usar o mesmo procedimento sem as amostras, (B1 e B2).

* Brancos são feitos sempre que novas enzimas forem usadas.

Preparação dos Cadinhos:

Nunca usar “sulfocrômica”

Cadinhos novos: lavar com ácido nítrico 10% (110 ml/1L)

Cadinhos reutilizados: lavar com ácido nítrico 30% (330 ml/1L)

Após a lavagem com ácido, lavar com acetona (dentro e fora). Levar à estufa a 100°C para secar.

Pesar aproximadamente 4,0g de celite seca (peso exatamente igual ao branco). Lavar com água (quantidade padronizada). Levar à estufa a 100°C para secar. Pesar e usar este cadinho na filtração das amostras.

6 - Cálculo

onde:

W $\Rightarrow$ peso da amostra (g)

D $\Rightarrow$ peso após secar (g)

I $\Rightarrow$ peso após incinerar (g)

B $\Rightarrow$ peso do branco (g)

$$\% \text{ de fibra insolúvel} = \frac{D1 - I1 - B1}{W} \times 100$$

$$\% \text{ de fibra insolúvel} = \frac{D2 - I2 - B2}{W} \times 100$$

CINZAS

1 - Introdução

A cinza dos alimentos é o resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica. A cinza obtida não corresponde necessariamente à mesma composição da substância mineral presente no alimento em si, isso devido às perdas por volatilização ou mesmo pela interação entre os componentes. O perfil da cinza pode ser considerado como medida geral de qualidade e frequentemente é utilizado como critério na identificação dos alimentos. A cinza contém cálcio, magnésio, ferro, fósforo, chumbo, mercúrio e outros componentes minerais.

Teor muito alto de cinzas indica a presença de adulterante e é recomendável determinar também os componentes insolúveis em ácido.

2 - Princípios do método

Fundamenta-se na perda de peso que ocorre quando o produto é incinerado a 525°C com destruição da matéria orgânica, sem apreciável decomposição dos constituintes do resíduo mineral ou perda por volatilização.

3 - Objetivo

Determinação de cinzas em bebidas não-alcoólicas.

4 - Aparelhagem

- Mufla;
- Bico de Bunsen;
- Balança analítica.

5 - Material

- Pipeta volumétrica;
- Dessecador;
- Cadinho de porcelana ou de platina de 30 ml.

6 - Procedimento

Pesar 10 g de amostra em cadinho previamente tarado e colocar em banho - maria até a secagem, caso a amostra tenha alto teor de umidade. Carbonizar completamente em

bico de Bunsen e colocar na mufla a 525°C até completa incineração. A amostra deverá ficar totalmente isenta de carvão, devendo apresentar coloração branca ou acinzentada. Deixar esfriar em dessecador e pesar.

7 - Cálculo

$$\% \text{ de cinzas} = \frac{\text{g de cinzas}}{\text{g de amostra}} \times 100$$

8 - Expressão do resultado

Expressar em g/100 g.

SÓLIDOS TOTAIS E UMIDADE

1 - Introdução

O teor de água presente em qualquer alimento é de total importância sob vários aspectos. Na realidade, é uma das determinações de difícil execução, visto que os métodos usuais para sua quantificação envolvem a destilação da água presente no alimento e, com isto, outros compostos voláteis também são evaporados.

Em função da temperatura a que é submetida a amostra para a evaporação da água presente pode haver caramelização de compostos tipo açúcares e proteínas, além da degradação de outros componentes.

Em suma, na determinação do teor de água de um produto alimentício, o termo umidade refere-se à somatória da água volatilizada nas condições do método analítico e dos demais componentes também volatilizados ou decompostos pelo calor. Assim, o teor de sólidos totais de um produto representa, teoricamente, um valor igual ou inferior ao valor real.

2 - Princípio do método

Fundamenta-se na evaporação da água presente na bebida não-alcoólica e pesagem do resíduo não-volatilizado.

3 - Objetivo

Determinar o teor de sólidos em bebidas não-alcoólicas.

4 - Aparelhagem

- Balança analítica;
- Estufa acoplada a bomba de vácuo;
- Banho-maria.

5 - Material

- Cápsula de porcelana ou de alumínio;
- Pistilo de vidro;
- Areia lavada e seca, de peso constante;
- Dessecador;
- Pipeta volumétrica de 10 ml.

6 - Procedimento

6.1 Amostra com alto teor água

Pipetar 10 ml (ou pesar analiticamente cerca de 10g) de amostra em cápsula de porcelana contendo areia e pistilo, tarada. Homogeneizar e colocar em estufa a 70°C e a vácuo de no mínimo 50 mm Hg, durante 6 horas. Retirar a cápsula a intervalos de 1 hora, homogeneizar o material nela contido e recolocá-la na estufa. Retirar a cápsula, colocar em dessecador, deixar esfriar e pesar. Repetir a operação até obter peso constante.

6.2 Amostra com baixo teor de água

Pesar analiticamente cerca de 5g de amostra em cápsula de alumínio tarada, colocar em estufa a 70°C e vácuo de no mínimo 50 mm Hg, durante 6 horas. Retirar a cápsula, colocar em dessecador, deixar esfriar e pesar. Repetir a operação até obter peso constante do resíduo.

7 - Cálculos

$$7.1 \quad \text{g sólidos totais/100 ml} = \frac{\text{g resíduo} \times 100\text{g}}{\text{ml de amostra}}$$

$$7.2 \quad \text{g de umidade/100 ml} = 100 - (\text{g sólidos totais/100 ml})$$

8 - Expressão dos resultados

Expressar em:

$$8.1 \quad \text{Sólidos totais} \Rightarrow \text{g/100 ml ou g/100 g}$$

$$8.2 \quad \text{Umidade} \Rightarrow \text{g/100 ml ou g/100 g}$$

PROTEÍNA BRUTA

1 - Introdução

Proteínas são moléculas de natureza heteropolimérica que ocorrem naturalmente na célula viva. São constituídas de vários aminoácidos condensados por ligações peptídicas, formando cadeias helicoidais de alto peso molecular. A hidrólise ácida de proteína libera os aminoácidos e numa etapa posterior, forma amônia.

2 - Princípio do método

Fundamenta-se na digestão ácida da bebida não-alcoólica em presença de catalisadores, formação de amônia, destilação desta em meio básico e titulação com solução-padrão de ácido.

3 - Objetivo

Determinar o teor de nitrogênio total em bebidas não-alcoólicas e calcular o teor de proteína bruta.

4 - Aparelhagem

- Conjunto digestor-destilador e Kjeldahl;
- Balança analítica.

5 - Material

- Balão de Kjeldahl de 800 ml de capacidade;
- Pipeta volumétrica de 10 ml;
- Bureta de 25 ml de capacidade com divisões de 0,1 ml;
- Proveta de 100 ml;
- Pedra-pomes;
- Erlenmeyer de 250 ml.

6 - Reagentes

- Sulfato de cobre pentaidratado p.a.;
- Sulfato de potássio p.a.;
- Ácido sulfúrico concentrado p.a.;
- Solução aquosa de hidróxido de sódio a 50% (p/v);
- Solução de ácido bórico com indicadores; pesar 20g de ácido bórico p.a., transferir para balão volumétrico de 1000 ml, adicionar 6 ml de solução alcoólica de vermelho de metila a 0,1%, 15 ml de solução alcoólica de verde bromocresol a 0,1%, agitar e completar o volume com água;
- Solução-padrão de ácido clorídrico 0,1N.

7 - Procedimento

Pipetar 10 ml da amostra (ou volume conveniente ou pesar amostra sólida), colocar no balão de Kjeldahl, juntar 18 g do sulfato de potássio, 1 g de sulfato de cobre e 25 ml de ácido sulfúrico. Digerir a quente até destruição completa da matéria orgânica. Retirar o balão, esfriar a temperatura ambiente, juntar 150 ml de água e pedaços de pedra-pomes. Deixar escorrer pelas paredes do balão 90 ml da solução de hidróxido de sódio, conectar imediatamente o balão ao condensador e destilar com aquecimento máximo, recolhendo cerca de 100 ml do destilado em Erlenmeyer contendo 30 ml da solução de ácido bórico com indicadores. Retirar o Erlenmeyer e titular com a solução de ácido clorídrico até mudança da coloração verde para rosada.

8 - Cálculo

$$\text{g nitrogênio/100ml} = \frac{\text{ml HCl} \times N \times 14 \times 100}{\text{ml amostra} \times 1000}$$

$$\text{g proteína bruta/100 ml} = \text{g nitrogênio/100 ml} \times 6,25$$

9 - Expressão do resultado

Expressar em g/100 ml ou em g/100 g.

PECTINA

1- Introdução

Presentes em pequenas quantidades em relação a outras substâncias que ocorrem nas paredes celulares, as pectinas são comuns a todas estas paredes e também estão presentes nas camadas intercelulares. Constituem cerca de 1 a 4% dos polissacárides das paredes celulares, embora sejam mais abundantes em tecidos especializados de determinadas plantas, assim, a casca de frutas cítricas contém 30% de pectina, a polpa de maçã 15% e a casca de cebola de 11 a 12%.

Como grupos de substâncias, as pectinas são bioquimicamente menos bem definidas que outros polissacárides, mas em geral, são menores com pesos moleculares situados entre 60.000 e 90.000. A molécula matriz é um polímero do ácido 1 - 4 beta D-galacturônico.

Muitas são heteropolissacárides, contendo principalmente ácido D-galacturônico, D-galactose, L-arabinose, D-xilose, L-ramnose e L-fucose. Mais comumente, o polímero básico de ácido galacturônico é modificado para incluir entre 10 e 25% de resíduos neutros de açúcares como unidades singulares ou cadeias laterais longas, enquanto entre 3 e 11% dos resíduos de ácidos urônicos têm substituições metílicas.

A pectina de maçã possui substituições metílicas da ordem de 6 a 9%, as frutas cítricas de 7 a 10%, em contraste com a pectina do morango, onde as substituições metílicas são da ordem de 0,2%.

Duas propriedades das pectinas receberam atenção: a capacidade de formação de gel e a atração iônica. A capacidade de formação de gel depende, em primeiro lugar, da estrutura que forma o ácido poligalacturônico. Os ésteres metílicos dos ácidos urônicos são um dos fatores mais importantes para a geleificação das pectinas.

Os resíduos de ácidos urônicos não esterificados no polímero mantêm as suas moléculas afastadas, prejudicando a formação de gel, embora esta repulsão possa ser vencida com íons cálcio. As substâncias pécticas, de modo geral, atuam como trocadores catiônicos e esta propriedade está relacionada com a quantidade de resíduos de ácidos urônicos livres.

2 - Princípio do método

Baseia-se na neutralização das cargas dos resíduos de ácidos urônicos livres pelos íons cálcio, provocando a geleificação da pectina e sua precipitação.

3 - Objetivo

Determinação da pectina em bebidas não-alcoólicas.

4 - Aparelhagem

- Balança analítica;
- Banho-maria;
- Estufa.

5 - Material

- Balões volumétricas de 100, 500 e 1000 ml;
- Béquer de 800 ml;
- Erlenmeyer de 500 ml;
- Placas de alumínio;
- Dessecador;
- Funil de vidro;
- Papel Whatman nº 4

6 - Reagentes

Ácido acético - solução aproximadamente 1N: diluir 30 ml de ácido acético glacial p.a. a 500 ml com água destilada;

Cloreto de cálcio - solução aproximadamente 2N: dissolver 55 g de cloreto de cálcio anidro em água destilada e diluir para 500 ml;

Solução de nitrato de prata a 1%: dissolver 1 g de nitrato de prata em água destilada e diluir a 100 ml;

- Solução de hidróxido de sódio 1N.

7 - Procedimento

Pipetar 100 ml da amostra (ou pesar quantidade conveniente) em um béquer de 800 ml e juntar cerca de 400 ml de água destilada. Ferver lentamente durante 1 hora, recolocando a água perdida por evaporação. Esfriar, transferir o conteúdo do béquer para um balão de 500 ml e completar o volume. Agitar bem e filtrar para um Erlenmeyer de 500 ml, usando papel de filtro Whatman nº 4. Após agitação, pipetar aliquotas de 100 ml em béqueres de 800 ml, adicionar 300 ml de água destilada, 10 ml da solução de hidróxido de sódio, agitando continuamente e deixar em repouso durante uma noite. Juntar 50 ml da solução de ácido acético e após 5 minutos, juntar em cada béquer 50 ml da solução de cloreto de cálcio sob agitação, esperar uma hora e aquecer à ebulição durante 1 minuto. Filtrar em papel de filtro Whatman e lavar com água quase em ebulição até que todo o cloreto seja eliminado (testar com AgNO_3). Transferir o resíduo do filtro para placas de alumínio previamente taradas, evaporar em banho-maria até a secura e deixar durante uma noite em estufa a 100°C. Deixar esfriar em dessecador e pesar.

8 - Cálculo

O teor pectina é calculado pela fórmula:

$$\text{g de pectato de cálcio} / 100 \text{ ml} = \frac{\text{g de pectato de cálcio} \times 100}{\text{ml da amostra}}$$

9 - Expressão do resultado

Expressar a pectina como pectato de cálcio em g/100 ml ou g/100 g.

ANEXO B

DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA

A) VISCOSÍMETRO RHEOTEST 2.1

Princípio de operação: o viscosímetro de rotação Rheotest 2.1 é um instrumento de 2 sistemas. As propriedades reológicas de uma substância podem ser ensaiadas ou por meio de um dispositivo de medição com cilindros de Couette ou por meio de um dispositivo de cone e placa. A quantidade de amostra necessária varia de 0,1 a 50 ml, conforme o dispositivo de medição.

O Rheotest 2.1 é um viscosímetro de rotação da estrutura e serve para determinar a viscosidade dinâmica de líquidos Newtonianos bem como para amplas investigações das propriedades reológicas de líquidos não-Newtonianos; este possui um dispositivo que permite a variação da velocidade de rotação do cilindro interno de 0,033 a 291,6 rpm com posições do seletor de 1bc a 12ad, respectivamente.

Este instrumento pode ser combinado com 5 dispositivos de medição com cilindros de diferentes dimensões geométricas:

1. Dispositivo de medição N $\Rightarrow$ para viscosidades baixas;
2. Dispositivo de medição S com cilindro de medição S1, S2 ou S3 $\Rightarrow$ para viscosidades médias;
3. Dispositivo de medição H $\Rightarrow$ para viscosidades elevadas;
4. Dispositivo de medição Z $\Rightarrow$ para graxas e pastas.

A tabela (B1) apresenta os tipos de dispositivos de medição, assim como o alcance máximo para a viscosidade, taxa de deformação e tensão de cisalhamento.

Tabela B1 : Especificações relativas ao equipamento Rheotest 2.1

Dispositivo de medição		Tensão de cisalhamento (Pa)	Taxa de deformação (s ⁻¹)	Viscosidade (mPa.s) = cP	Material do dispositivo de medição
Dispositivo de medição com cilindros	N	1,6 a 320	0,15 a 1310	1 a 2 x 10 ⁶	aço cromo-níquel x 10 CrNi 18,9 TGL 7143
	S1	2,8 a 560	0,15 a 1310	2 a 3,8 x 10 ⁶	
	S2	3 a 600	0,05 a 437	7 a 12 x 10 ⁶	
	S3	4 a 800	0,0167 a 145,8	30 a 50 x 10 ⁶	
	H	15 a 30 x 10 ²	0,0167 a 145,8	100 a 180 x 10 ⁶	
	Z	-	0,123 a 1073	100 a 28 x 10 ⁶	
Dispositivo de cone e placa	K1	40 a 80 x 10 ²	0,56 a 4860	8 a 14 x 10 ⁶	cone: aço cromo-níquel x 10 CrNi 18,9 TGL 7143 placa: cromo duro chapeado
	K2	135 a 270 x 10 ²	0,56 a 4860	30 a 50 x 10 ⁶	
	K3	11.10 ² a 2,2 x 10 ⁵	0,56 a 4860	220 a 400 x 10 ⁶	

B) REÔMETRO DIGITAL BROOKFIELD MODELO DV-III VERSÃO 3.0

O reômetro programável Brookfield DV-III, mede parâmetros de fluidos em força de cisalhamento e viscosidade a uma dada taxa de cisalhamento.

Princípio de operação: o princípio de operação do equipamento é rotacionar o “spindle” que está imerso do fluido de teste, através de uma mola calibrada. A resistência que o fluido exerce contra o “spindle” é medida pela deflexão da mola, que por sua vez é medida por um transdutor rotatório. O campo de medida do DV-III é determinado pela velocidade rotacional, tamanho e formato do “spindle”, pelo recipiente onde se encontra o fluido e pelo fundo de escala do torque da mola calibrada. Algumas especificações sobre o equipamento estão descritas na tabela (B2) a seguir:

Tabela B2 : Especificações referente ao equipamento Brookfield DV-III

Faixa de velocidade	0 - 250 rpm, incremento de 0,1 rpm
Precisão da viscosidade	± 1,0% do fundo de escala para um “spindle” específico a certa velocidade determinada.
Faixa do sensor de temperatura	-100°C a 300°C (-148°F a 572°F)
Precisão na temperatura	± 1,0°C de -100°C a +150°C ± 2,0°C de +150°C a +300°C

O equipamento possui quatro séries básicas de torque de molas, descritas a seguir:

Modelo		Torque da mola (Dina-cm)
LVDV-III	⇒	673,7
RVDV-III	⇒	7.187,0
HADV-III	⇒	14.374,0
HBDV-III	⇒	57.496,0

Quanto maior o torque de calibração, maior será o campo de medição. O display digital fornece leituras de torque de 0,00 a 99,9 no modo percentual.

ERRATA

$K_0 \Rightarrow$ constante (Pa.sⁿ) equação 33, p.46