



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA**



DISSERTAÇÃO
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO
E ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

REOLOGIA DA POLPA DE FIGO-DA-ÍNDIA

ANTONIO ALBERTO GRANGEIRO

**Campina Grande – Paraíba
OUTUBRO, 2004**

REOLOGIA DA POLPA DE FIGO-DA-ÍNDIA

ANTONIO ALBERTO GRANGEIRO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Armazenamento e Processamento
de Produtos Agrícolas**

**ORIENTADORES: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Prof.^a Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

**Campina Grande – Paraíba
OUTUBRO, 2004**



BIBLIOTECA

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

G757r Grangeiro, Antonio Alberto
2004 Reologia da polpa de figo-da-índia / Antonio Alberto Grangeiro . — Campina Grande: UFCG, 2004.
95f: il.

Inclui Bibliografia

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) — Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande.

1— Reologia 2— Figo-da-índia I— Título

CDU 532.135: 634.775



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

ANTÔNIO ALBERTO GRANGEIRO

REOLOGIA DA POLPA DE FIGO-DA-ÍNDIA

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Alexandre J. M. Queiroz
Dr. Alexandre José de M. Queiroz-Orientador

APROVADO

Rossana M. F. de Figueiredo
Dra. Rossana Maria F. de Figueiredo-Orientadora

Aprovado

Flávio Luiz Honorato da Silva
Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva-Examinador

Aprovado

Gabriel Francisco da Silva
Dr. Gabriel Francisco da Silva-Examinador

APROVADO

OUTUBRO - 2004

A Deus, o criador da vida; porque somos vida, e nada teria sentido se ela não existisse.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Criador de todas as coisas, que sempre esteve comigo, me ensinando o caminho.

À minha querida família, que sempre me apoiou em todas as situações.

Ao professor Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, pela amizade e pelas orientações, muito úteis para o meu crescimento pessoal e intelectual.

À professora Dr^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, pelas orientações e pela atenção dispensada.

À professora Dr^a. Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia do Deag-UFCG.

Ao professor Anselmo Rodrigues de Oliveira, UFPB - Campus de Areia.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e toda a UFCG.

Ao SEBRAE – PARAÍBA, pela solicitação atendida.

A todos os professores do LAPP, aos funcionários pela amizade e atenção.

A Lucicléia, Marcelo e Ranilda que muito contribuíram comigo nessa caminhada, e também Pablícia, Carmel, Sheila, Diniz, Concita, Mércia, Ivson, Hofsky, Jorge, Jeanne, Jedman, Jean, Rivanilda Diniz, Luciene, Flávio, Antonio, Renato, Luizinho, em fim, a todos os colegas, professores e funcionários pela amizade e cooperação.

Aos membros da banca examinadora pelas valiosas correções e sugestões.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	viii
NOMENCLATURA.....	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Objetivo geral.....	2
1.2 – Objetivos específicos.....	2
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 - Figo-da-índia.....	3
2.2 – Polpa e suco de frutas.....	7
2.3 – Caracterizações físico-químicas.....	8
2.3.1 – pH.....	8
2.3.2 – Sólidos solúveis totais.....	9
2.3.3 – Sólidos insolúveis.....	9
2.3.4 – Sólidos totais.....	10
2.3.5 – Umidade.....	10
2.3.6 - Pectinas.....	11
2.4 - Reologia dos fluidos.....	12
2.4.1 - Fluidos newtonianos.....	13
2.4.2 - Fluidos não-newtonianos.....	15
2.4.2.1 - Fluidos independentes do tempo.....	16
2.4.2.1.1 - Fluidos pseudoplásticos.....	16
2.4.2.1.2 - Fluidos dilatantes.....	17
2.4.2.2 - Fluidos dependentes do tempo.....	18
2.4.2.2.1 - Fluidos tixotrópicos.....	18
2.4.2.2.2 - Fluidos reopéticos.....	19
2.4.2.3 - Fluidos viscoelásticos.....	19
2.5 - Reometria.....	19
2.5.1 - Modelos reológicos.....	22
2.5.1.1 - Modelo de Casson.....	22

2.5.1.2 - Modelo da Lei da Potência.....	23
2.5.1.3 - Modelo de Herschel-Bulkley.....	24
2.5.1.4 - Modelo de Vocadlo.....	25
2.5.1.5 - Modelo de Mizrahi-Berk.....	25
2.5.1.6 - Modelo Plástico de Bingham.....	26
2.6 - Efeito da temperatura e concentração na reologia de fluidos alimentícios.....	26
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 - Aquisição da matéria-prima e obtenção da polpa.....	29
3.1.1 - Seleção.....	30
3.1.2 - Lavagem e desinfecção.....	31
3.1.3 - Descascamento.....	31
3.1.4 - Despulpamento.....	31
3.1.5 - Concentração.....	31
3.1.6 - Acondicionamento.....	31
3.1.7 - Congelamento.....	32
3.1.8 - Armazenamento.....	32
3.2 - Análises químicas da polpa.....	32
3.2.1 - pH.....	32
3.2.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix).....	32
3.2.3 - Sólidos insolúveis em água.....	32
3.2.4 - Sólidos totais/Umidade.....	33
3.2.5 - Pectina.....	33
3.3 - Reologia.....	33
3.3.1 - Conversão dos dados experimentais.....	33
3.3.1.1 - Tensão de cisalhamento.....	34
3.3.1.2 - Taxa de deformação.....	34
3.3.2 - Viscosidade aparente.....	35
3.3.3 - Modelos reológicos.....	35
3.4 - Tratamento dos dados.....	36
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 - Caracterização da matéria-prima.....	38
4.2 - Reometria.....	45
4.2.1 - Modelo de Casson.....	45
4.2.2 - Modelo da (Lei da Potência).....	46

4.2.3 – Modelo de Vocado.....	48
4.2.4 – Modelo de Herschel-Bulkley.....	50
4.2.5 – viscosidade aparente.....	58
5 – CONCLUSÕES.....	71
6 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
7 - APÊNDICE A.....	81
8 - APÊNDICE B.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Colhendo frutas em San Cono-Itália.....	4
Figura 2.2 - Curvas do comportamento reológico de fluidos newtonianos e não newtonianos independentes do tempo.....	16
Figura 2.3 – Diagrama esquemático do comportamento reológico de fluidos dependentes do tempo.....	18
Figura 2.4 – Instrumentos reológicos das categorias (tipo rotacional e tipo tubo).....	20
Figura 3.1 – figos-da-índia, inteiros.....	29
Figura 3.2 – figo-da-índia cortado ao meio, no sentido longitudinal.....	29
Figura 3.3 - Fluxograma do processamento do figo-da-índia para obtenção da polpa.....	30
Figura 4.1 – Valores de pectina para a polpa de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações.....	42
Figura 4.2 – Valores de pH para a polpa de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações.....	43
Figura 4.3 – Valores dos sólidos solúveis para a polpa de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações.....	43
Figura 4.4 – Valores de sólidos totais para a polpa de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações.....	44
Figura 4.5 – Valores de umidade para a polpa de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações.....	44

- Figura 4.6** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 13°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley.....53
- Figura 4.7** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 16°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley.....54
- Figura 4.8** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 19°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley.....55
- Figura 4.9** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 22°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley.....56
- Figura 4.10** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 25°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley.....57
- Figura 4.11** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 28°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley.....58
- Figura B.1** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 13°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.....87
- Figura B.2** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 16°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.....87

- Figura B.3** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 19°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.....88
- Figura B.4** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 22°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.....88
- Figura B.5** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 25°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.....89
- Figura B.6** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 28°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.....89
- Figura B.7** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 13°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-waelle (Lei da potência).....90
- Figura B.8** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 16°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-waelle (Lei da potência).....90
- Figura B.9** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 19°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-waelle (Lei da potência).....91
- Figura B.10** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 22°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-waelle (Lei da potência).....91

- Figura B.11** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 25°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-waelle (Lei da potência).....92
- Figura B.12** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 28°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-waelle (Lei da potência).....92
- Figura B.13** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 13°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.....93
- Figura B.14** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 16°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.....93
- Figura B.15** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 19°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.....94
- Figura B.16** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 22°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.....94
- Figura B.17** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 25°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.....95
- Figura B.18** - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 28°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.....95

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características de algumas variedades de figo-da-índia, cultivadas no mundo.....	5
Tabela 2.2 - Principais usos tradicionais, atuais e potenciais das <i>Opuntias</i>	6
Tabela 2.3 - Comparação da composição da polpa do figo-da-índia, com a da laranja e do mamão.....	7
Tabela 4.1 - Valores médios dos sólidos totais para as polpas de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28 (°Brix).....	38
Tabela 4.2 - Valores médios da umidade para a polpa de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28 (°Brix).....	39
Tabela 4.3 - Valores médios de pectina para a polpa de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28 (°Brix).....	40
Tabela 4.4 - Valores médios de pH para a polpa de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28 (°Brix).....	41
Tabela 4.5 - Valores médios de sólidos insolúveis para a polpa de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28 (°Brix).....	41
Tabela 4.6 - Parâmetros do modelo de Casson e coeficientes de determinação (R^2) para as polpas de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28 °Brix.....	46
Tabela 4.7 - Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle e coeficientes de determinação (R^2) para as polpas de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28 °Brix.....	48
Tabela 4.8 - Parâmetros do modelo de Vocadlo e coeficientes de determinação (R^2) para as polpas de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28 °Brix.....	50

Tabela 4.9 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley e coeficientes de determinação (R^2) para as polpas de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28 °Brix.....	52
Tabela 4.10 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a temperatura de 10°C, nas diferentes concentrações.....	59
Tabela 4.11 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a temperatura de 20°C, nas diferentes concentrações.....	60
Tabela 4.12 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a temperatura de 30°C, nas diferentes concentrações.....	61
Tabela 4.13 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a temperatura de 40°C, nas diferentes concentrações.....	62
Tabela 4.14 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a temperatura de 50°C, nas diferentes concentrações.....	63
Tabela 4.15 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a temperatura de 60°C, nas diferentes concentrações.....	64
Tabela 4.16 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a concentração de 13°Brix, nas diferentes temperaturas.....	65
Tabela 4.17 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a concentração de 16°Brix, nas diferentes temperaturas.....	66
Tabela 4.18 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a concentração de 19°Brix, nas diferentes temperaturas.....	67
Tabela 4.19 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a concentração de 22°Brix, nas diferentes temperaturas.....	68

Tabela 4.20 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a concentração de 25°Brix, nas diferentes temperaturas.....	69
Tabela 4.21 – Valores médios das viscosidades aparentes da polpa de figo-da-índia, a concentração de 28°Brix, nas diferentes temperaturas.....	70
Tabela A.1 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 10°C.....	82
Tabela A.2 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 20°C.....	82
Tabela A.3 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 30°C.....	82
Tabela A.4 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 40°C.....	83
Tabela A.5 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 50°C.....	83
Tabela A.6 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 60°C.....	83
Tabela A.7 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 13°Brix.....	84
Tabela A.8 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 16°Brix.....	84
Tabela A.9 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 19°Brix.....	84

Tabela A.10 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 22°Brix.....	85
Tabela A.11 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 25°Brix.....	85
Tabela A.12 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 28°Brix.....	85

NOMENCLATURA

k_{at} - fator correspondente ao spindle utilizado

$k_{N\gamma}$ - fator variável conforme índice de fluido e do spindle utilizado

K - índice de consistência da lei da potência, (Pa sⁿ)

K_{0C} - tensão inicial de cisalhamento de Casson (Pa)^{0,5}

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s)^{0,5}

K_H - índice de consistência de Herschel-Bulkley (Pa sⁿ)

K_V - índice de consistência de Vocadlo (Pa sⁿ)

n - índice de comportamento do fluxo (adimensional)

n_V - índice de comportamento de fluxo de Vocadlo (adimensional)

n_H - índice de comportamento de fluxo de Herschel-Bulkley (Adimensional)

N_i - velocidade de rotação (rpm)

R - constante universal dos gases perfeitos (1.987cal/gmol K)

R^2 - coeficiente de determinação (%)

T - temperatura absoluta (K)

Estatística

MG – Média geral;

CV – Coeficiente de variação

DMS – Desvio mínimo significativo.

Letras Gregas

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

τ_0 - tensão inicial de cisalhamento (Pa)

τ_{OH} - tensão inicial de cisalhamento de Herschel-Bulkley (Pa)

τ_{ov} - tensão inicial de cisalhamento de Vocadlo (Pa)

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

η - viscosidade (Pa.s)

η_a - viscosidade aparente (Pa.s)

α_i - leitura do torque

Dissertação de Mestrado: Reologia da polpa de figo-da-índia

Autor: Antonio Alberto Grangeiro

Orientadores: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Prof. Dr.^a. Rossana M. Feitosa de Figueirêdo

Departamento de Engenharia Agrícola – DEAg. UFCG

RESUMO

Estudou-se, neste trabalho, a reologia da polpa de figo-da-índia numa faixa de temperatura de 10 a 60°C e em concentrações de 13 a 28°Brix. No processo de obtenção da polpa fez-se seleção, lavagem e desinfecção, descascamento, despulpamento, concentração, acondicionamento, congelamento e armazenamento em freezer a -20°C. Nas análises físico-químicas determinaram-se o pH, através de um potenciômetro, sólidos solúveis totais por refratometria, sólidos insolúveis em água pelo método do Instituto Adolfo Lutz, enquanto a determinação de pectina foi feita pelo método de Carré & Haynes e a determinação de sólidos totais e umidade seguiu a metodologia do Instituto Adolfo Lutz. As medidas reológicas foram realizadas com o uso de um viscosímetro Brookfield, modelo RVT. Os dados experimentais foram ajustados pelos modelos reológicos de Casson, Ostwald-de-Waelle, Vocadlo e Herschel-Bulkley, ressaltando-se que o último foi o que melhor se ajustou a esses dados. Todas as amostras apresentaram comportamento não-newtoniano do tipo pseudoplástico. A viscosidade foi influenciada pela concentração e temperatura.

Palavras-chave: reologia, *Opuntia ficus-indica* Mill, polpa, temperatura, concentração

Rheology of cactus pear pulp

Author: Antonio Alberto Grangeiro

Supervisors: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Prof^ª. Dr^ª. Rossana M. Feitosa de Figueirêdo

Department of Agricultural Engineering - DEAg. UFCG

ABSTRACT

In this work it was studied, the rheology of cactus pear pulp in a temperature range from 10 to 60°C and in concentrations from 13 to 28°Brix. In the process of obtaining the pulp it was made: selection, wash and disinfection, to peeling, extraction of the pulp, concentration, packaging, freezing and storage in freezer to -20°C. In the physiochemical analyses, was determined pH through a potentiometer, it was determined total soluble solids by refratometric method, insoluble solids in water by Instituto Adolfo Lutz method, the pectin determination it was made by Carré & Haynes method, the determination of total solids and moisture followed the Instituto Adolfo Lutz methodology. The rheologicals readings were made with the use of a viscometer Brookfield RVT model. The experimental data were fitted with Casson, Ostwald-of-Waelle, Vocadlo and Herschel-Bulkley's rheological models, enphasing that, this last one it was adjusted better to the data. All these samples presented behavior non-newtonian of the pseudoplastic type, for the four models. The viscosity it was influenced by the concentration and temperature.

Key words: rheology, *Opuntia ficus indica* Mill., pulp, temperature, concentration

1 – INTRODUÇÃO

O Nordeste é a região brasileira que tem seu território, na maior parte, inserido no clima semi-árido, com solos rasos, pedregosos e baixos índices pluviométricos, motivos que a tornam bastante limitada para atividades agrícolas de ciclo anual. Em algumas microrregiões a escassez de água limita, inclusive, o uso da irrigação, mas é possível produzir alimentos de culturas adaptadas às suas condições, destacando-se a produção de frutas tropicais, atividade que se beneficia em qualidade e produtividade. A cadeia iniciada na produção deve visar, desde o início, à incorporação de valor à matéria-prima, por meio de agroindústrias capazes de beneficiar, processar e diversificar ainda mais a oferta desses produtos.

Dentre as espécies frutíferas que se constituem em alternativa econômica para o semi-árido brasileiro e que podem contribuir com o desenvolvimento da região, destaca-se o figo-da-índia, fruto da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.), planta da família das cactáceas, excepcionalmente adaptada às condições edafo-climáticas locais; é produzida na região para exploração dos cladódios ou “raquetes”, como ração animal. A palma, como é mais conhecida, vegeta perfeitamente no clima seco do Nordeste do Brasil e produz, assim, forragem e frutos, mesmo com baixos índices pluviométricos. Conforme mencionam LAHSANI et al. (2004) a palma forrageira cresce em todas as partes do Continente americano, do Sul do Canadá à Patagônia, na Argentina sendo, atualmente, cultivada na Europa, particularmente nos países mediterrâneos, na África e Austrália. Esses mesmos autores afirmam que, devido à sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais, a palma forrageira é cultivada em planícies, regiões litorâneas e planaltos, entre outras. O figo-da-índia é um fruto bonito, doce e suculento, podendo ser consumido ao natural ou processado das mais variadas formas, motivos que o tornam bastante apreciado em alguns países e também em determinadas regiões do Brasil. HERNÁNDEZ (2001) menciona que essa fruta é consumida normalmente ao natural; todavia, há interesse em ampliar as suas possibilidades de uso devido ao valor nutricional.

O processamento do figo-da-índia tende a aumentar seu consumo, pelo fato do fruto apresentar, em sua casca, pelos lignificados capazes de perfurar a pele humana, o que tem limitado o consumo.

Os mercados, em geral, e em particular o mercado externo, exigem alimentos de qualidade, com facilidade de consumo e com variadas formas de aproveitamento como purê ou polpa, néctar, suco, compota, sorvete e doces de frutas. Mercados cada vez mais exigentes e com maior poder de compra têm estimulado o desenvolvimento de estudos, objetivando aumentos de produtividade e melhorias da qualidade dos produtos agrícolas, adaptando processos e equipamentos industriais, com vistas a este fim. No processamento industrial de polpas, doces e demais derivados de frutas em estado fluido ou pastoso, os estudos das propriedades reológicas têm aplicação fundamental. QUEIROZ (1998) reporta que os estudos reológicos são determinantes para o projeto de equipamentos destinados ao processamento de produtos derivados de frutas, como sucos e purês, como também para a construção e dimensionamento dos equipamentos, como bombas, tubulações, trocadores de calor, evaporadores, misturadores e filtros. Assim, trabalhos que estudam as características reológicas específicas de frutas regionais trazem contribuição à fruticultura da região, fornecendo informações fundamentais voltadas para investimentos no segmento agroindustrial.

1.1 – Objetivo geral

Neste trabalho, teve-se como objetivo realizar a caracterização físico-química da polpa de figo-da-índia e estudar seu comportamento reológico.

1.2 – Objetivos específicos

Produzir polpas de figo-da-índia, integral e concentradas, com teores de sólidos solúveis de 13, 16, 19, 22, 25 e 28°Brix.

Determinar os sólidos solúveis totais, pH, sólidos insolúveis, pectina, sólidos totais e umidade das polpas de figo-da-índia, nas concentrações obtidas.

Estudar o comportamento reológico das polpas produzidas nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Figo-da-índia

O figo-da-índia, também conhecido como fruta da palma (*Opuntia ficus-indica* Mill.) é uma espécie pertencente à família das Cactáceas e tem, como origem, o continente americano. Por sua grande diversidade e adaptabilidade encontra-se, atualmente, bastante cultivada em várias partes do mundo. Conforme MOHAMED-YASSEEN et al. (1996) a família Cactaceae engloba aproximadamente 130 gêneros e 1500 espécies, das quais 300 estão no gênero *Opuntia* Mill.

Segundo BARRIOS & MUÑOZ-URÍAS (2001) embora haja muitos estudos a respeito da taxonomia da palma forrageira, ainda há muita confusão quanto às suas descrições em virtude dos estudos se basearem numa quantidade reduzida de amostras e não refletirem a variabilidade natural do habitat. De acordo com Bravo, citado por esses mesmos autores, alguns desses nomes são apenas variedades, formas geográficas, híbridos etc.

A palma forrageira vem conquistando cada vez mais importância em todo o mundo, em razão de sua utilização não apenas na alimentação animal mas também, na humana, ainda por sua adaptabilidade a regiões áridas e semi-áridas. Conforme LAHSANI et al. (2004) graças à sua capacidade para se adaptar a diferentes condições ambientais, a palma forrageira é cultivada em planícies, regiões litorâneas, planaltos e diversos tipos de vegetações sendo, portanto, uma das espécies de cactáceas mais difundidas e cultivadas no mundo. A palma forrageira cresce em todas as partes do Continente americano, do Sul do Canadá à Patagônia e, com o passar do tempo, foi sendo cultivada na Europa, particularmente nos países mediterrâneos, e, na África e Austrália. No México, diferentes espécies de *Opuntia* crescem espontaneamente e são exploradas para produção de frutas, enquanto na Itália e região do mediterrâneo em geral, a *Opuntia ficus-indica* Mill. é cultivada.

Observa-se, na Figura 2.1, a colheita de figo-da-índia cultivado na região de San Cono, na Itália.

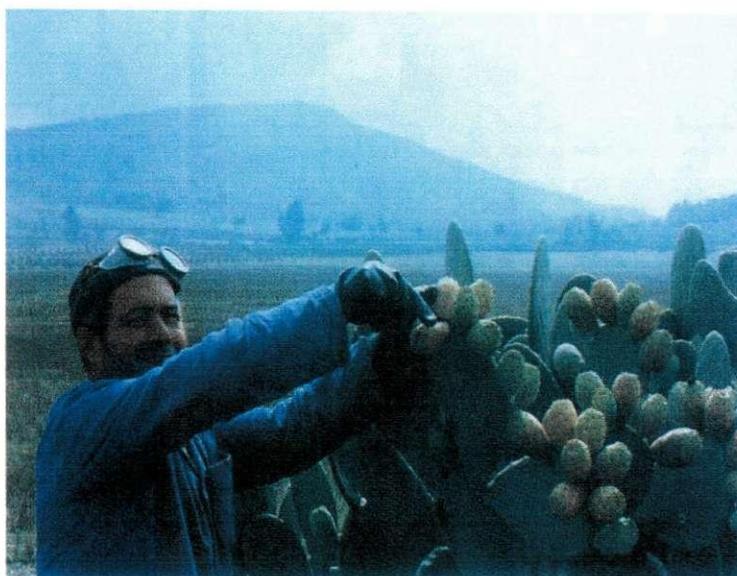


Figura 2.1 – Colhendo frutas em San Cono-Itália (Inglese, citado por BARBERA et al., 2001)

De acordo com GURRIERI et al. (2000) a palma forrageira produz frutas deliciosas e suculentas, com grande número de sementes duras, consumidas normalmente ao natural e sem casca. A variação da cor da polpa depende da cultivar. Esses mesmos autores relatam que o suco pode ser empregado em preparações de sorvetes e, desidratado para fabricação de balas, sendo consumido na África do Sul, também na forma de geléias e melaços.

MOHAMED-YASSEEN et al. (1996) reportam que o figo-da-índia é uma baga formada de um ovário inferior aderido ao receptáculo. CORBO et al., (2004) afirmam que o figo-da-índia é uma baga ovalada, de casca grossa carnosa (30 a 40% do peso da fruta), envolvendo uma polpa suculenta com muitas sementes revestidas de uma camada dura (5 - 10% do peso da polpa).

Alguns exemplos de variedades de figo-da-índia cultivados em diferentes partes do mundo, com destaque de algumas características como cor, peso, percentagem de polpa e teor de sólidos solúveis totais (SST), são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Características de algumas variedades de figo-da-índia, cultivadas no mundo

Local	Variedade	Cor	Peso (g)	Percentagem	Sol.
				de polpa (%)	solúveis totais (%)
México	Cristalina	Verde clara	240	65	14
	Naranjona	Laranja-amarela	114	55	15
	Roja pelona	Vermelho-púrpura	116	55	14
Itália	Gialla	Laranja-amarela	125	65	13
	Bianca	Creme pálido	123	68	15
Argentina	Naranja	Amarela	130	-	12
	Rosada	Vermelha	140	-	13
Israel	Ofer	Amarela	116	55	14
África do Sul	Algerian	Rosa forte	110	56	12
	Guaya Quil	Amarelo-branco	89	41	14
	Nudosa	Verde-marrom	175	47	11

Fonte: BARRIOS & MUÑOZ-URIAS (2001)

No Brasil, as *Opuntias* representam significativa forragem e, de acordo com LIRA et al. (1989) são cultivadas, em mais de 400 mil ha, principalmente nos estados de Pernambuco e Alagoas. Para BARBERA (2001) são grandes produtores os estados da Paraíba, Pernambuco e Alagoas, todavia, a produção de frutas nesses estados é considerada de menor importância, não obstante são exportadas para a Europa, nos meses de março e abril, a partir de plantações no sudeste do País.

Na Tabela 2.2 são apresentados os principais e potenciais usos das *Opuntias* (palma forrageira) das mais variadas formas.

Tabela 2.2 - Principais usos tradicionais, atuais e potenciais das *Opuntias*

Alimentação humana	<ul style="list-style-type: none">• Frutas e cascas de frutas: (fresca, seca, enlatada, congelada, cristalizada), suco, polpa e bebidas alcoólicas (vinho, licor etc.), marmelada, compota e melaço da fruta, doces, geléias, purês e adoçante líquido.• Sementes: óleo comestível.• Verdura (cladódios jovens frescos): processados em salmoura ou vinagre, pré-cozidos, congelados, doces e geléias.
Alimentação animal	<ul style="list-style-type: none">• Cladódios, frutas e sementes.• Pastejo direto na planta.
Energia, Medicina, Cosmético, Agronômico e outros.	

Fonte: BARBERA (2001)

Conforme Lakshminarayana, citado por MOHAMED-YASSEEN et al. (1996) o figo-da-índia (*Opuntia ficus indica* Mill.) contém 84,7% de água, 14,8% de sólidos solúveis, aproximadamente 15,4% de açúcares, 31,7 mg/100g de vitamina C e pH 6,2.

Na Tabela 2.3 apresentada-se a composição química do figo-da-índia (*Opuntia amyclaea*), comparada com a da laranja e do mamão. Os valores dos carboidratos totais, lipídios e proteínas, são similares nas três frutas, e o teor de minerais do figo-da-índia é superior aos demais.

Tabela 2.3 - Composição química do figo-da-índia, da laranja e do mamão

Componente	Figo-da-índia	Laranja	Mamão
Água (%)	85,0	87,8	88,7
Carboidratos totais (%)	11,0	11,0	10,0
Fibras cruas (%)	1,8	0,5	0,8
Lipídios (%)	0,1	0,1	0,1
Proteínas (%)	0,5	0,4	0,6
Cinzas (%)	1,6	0,4	0,6
Cálcio (mg/100g)	60,0	40,0	20,0
Vitamina C (mg/100g)	30,0	50,0	50,0
Vitamina A (UI)	50,0	200,0	1.100,0

Fonte: Hernández et al. citado por CANTWELL (2001)

SÁENZ & SEPÚLVEDA (2001) afirmaram que, por suas qualidades nutricionais, o figo-da-índia é uma fruta promissora para a produção de suco, com destaque para o de polpa vermelho púrpura.

De acordo com GURRIERI et al. (2000) por seu valor nutricional, o suco de figo-da-índia pode ser consumido como tal ou empregado em outros sucos com acidez alta e pH baixo, melhorando as propriedades nutricionais, sabor, cor e doçura.

2.2 – Polpa e suco de frutas

A produção e comercialização de polpa de frutas no Brasil e as determinações dos seus Padrões de Identidade e Qualidade, são estabelecidas pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento.

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

O rendimento em polpa é um parâmetro de qualidade para a indústria de concentrados (polpas, doces em massa, néctares etc.), do mesmo modo que o rendimento em suco é importante, por refletir, quantitativamente, a qualidade da matéria-prima. (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

De acordo com SÁENZ & SEPÚLVEDA (2001), os sucos naturais de figo-da-índia das cultivares de polpa verde, amarela, roxa, e vermelha, poderiam ganhar rapidamente mercado nos diferentes países produtores, necessitando apenas do aperfeiçoamento das técnicas de produção, em escala industrial.

2.3 – Características físico-químicas

2.3.1 – pH

Conforme LEITÃO (1980), o pH é uma característica intrínseca do alimento, cuja importância fundamental reside no controle de microrganismos, além de facilitar na maior ou menor conservação dos alimentos.

Segundo CHAVES (1993) a determinação do pH em alimentos se torna necessária por vários fatores, dentre os quais influência na palatabilidade, desenvolvimento de microrganismos, escolha da temperatura de esterilização, da embalagem a ser utilizada para o alimento, do tipo de material de limpeza e desinfecção, de equipamentos industriais, aditivos e vários outros.

GURRIERI et al. (2000) estudaram as características físico-químicas do figo-da-índia, quando verificaram que seu pH era muito alto (6,4-6,5), e afirmaram que a legislação italiana exige, para armazenamento por longo prazo, que o pH da polpa de dessa fruta, seja menor que 4,5, o que se deve ao fato de que o pH baixo limita o desenvolvimento de microrganismos patogênicos e, assim, aumenta a validade dos produtos alimentícios.

2.3.2 – Sólidos solúveis totais

CHITARRA & CHITARRA (1990) afirmaram que os sólidos solúveis indicam a quantidade, em grama, dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou polpa. São comumente designados °Brix e têm tendência de aumento com a maturação. Os sólidos podem ser medidos no campo ou na indústria, com auxílio de refratômetro.

Conforme RODRIGUES et al. (1997), o valor dos sólidos solúveis nos frutos tem grande importância, uma vez que, quanto maior a quantidade desses componentes, menor será a quantidade adicionada de açúcar na industrialização de produtos derivados de frutos, aumentando, então, a qualidade e diminuindo os custos de produção.

CHITARRA & CHITARRA (1990) informaram que os principais açúcares solúveis presentes em frutos são a glicose, a frutose e a sacarose.

WITHERSPOON & JACKSON (1995) disseram que os sólidos solúveis totais (SST) são uma medida de açúcares, ácidos orgânicos e outros componentes solúveis no suco de damasco. São usados como indicadores de maturidade junto com a firmeza, e são medidos em termos de percentagem de sacarose pura, porque a sacarose é o principal constituinte do suco de damasco.

2.3.3 – Sólidos insolúveis

WHITTEMBERGER & NUTTING (1957) analisaram o efeito da estrutura das células do suco de tomate e, constataram que, as estruturas insolúveis são as mais influentes sobre a consistência do produto.

QUEIROZ (1998) estudou o efeito dos sólidos insolúveis presentes no suco de manga e concluiu que este é o segundo elemento mais importante a influenciar o comportamento reológico desse material.

2.3.4 – Sólidos totais

Para CECCHI (1999), a determinação de sólidos totais é essencial, ressaltando que, a quantidade de matéria seca serve para comparar o valor nutritivo de dois ou mais alimentos e dá idéia de preservação. Os sólidos totais são obtidos pela diferença entre o peso total da amostra e o teor de umidade.

Muitos componentes físico-químicos são indicadores de qualidade nos alimentos, entre eles os sólidos totais. EL BULK et al. (1997) estudaram as mudanças na composição química de goiaba de quatro cultivares e constataram que todas as cultivares apresentaram aumento do conteúdo de sólidos totais com o desenvolvimento e amadurecimento da fruta.

Segundo AHMED et al. (2000), dentre os fatores que afetam o comportamento reológico de purês de frutas se incluem, sólidos totais, sólidos solúveis totais, tamanho das partículas e temperatura.

2.3.5 – Umidade

Quando um produto é aquecido em condições que permitam a remoção da água, ocorrerá perda de peso, a qual corresponde à umidade do produto. O resíduo no aquecimento direto é chamado resíduo seco (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

CHITARRA & CHITARRA (1990) relataram que a água é o maior componente dos frutos e hortaliças, perfazendo o total de 80 até 95% de sua composição. Os produtos amiláceos, como raízes e tubérculos, apresentam teores menores, em torno de 50%. O conteúdo de água é bastante variável entre as espécies e depende do suprimento dado ao tecido, à época da colheita, da temperatura e umidade relativa do meio. O conteúdo de água é responsável pela turgidez dos tecidos, conferindo-lhes boa aparência.

2.3.6 – Pectinas

As substâncias pécticas são os principais componentes químicos dos tecidos dos frutos e hortaliças. Essas substâncias se encontram nos frutos, sob diferentes formas, caracterizadas por variadas solubilidades. Indicam a consistência ou textura do produto, sendo importante na matéria-prima destinada à indústria, por serem um dos constituintes responsáveis pela geleificação no preparo de geléias ou, então, como substâncias estabilizadoras do suco. Geralmente, são determinadas por métodos químicos. (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

As substâncias pécticas são parcialmente responsáveis pela viscosidade da polpa de figo-da-índia, além de imprescindíveis à produção de suco, porém a presença dessas substâncias no figo-da-índia está associada à mucilagem, outro seu importante mas problemático componente, o qual produz uma viscosidade de baixa aceitabilidade sendo freqüentemente rejeitada pelos consumidores (SÁENZ & SEPÚLVEDA, 2001).

SHARMA et al. (1996) estudaram o efeito da composição sobre as propriedades reológicas da polpa de tomate de seis cultivares e notaram que a relação tensão de cisalhamento versus taxa de deformação, está relacionada à composição em pectina, sólidos insolúveis e sólidos solúveis totais. Esses mesmos autores verificaram também que a pectina foi o principal componente a influenciar a viscosidade da polpa, em cinco das seis cultivares estudadas.

SÁENZ & COSTELL (1986) destacam as pectinas como substâncias determinantes para o aumento da viscosidade e que dificultam a clarificação de derivados de frutas; afirmam, ainda, que as partículas em suspensão influenciam o comportamento do escoamento e que a plasticidade e a pseudoplasticidade dependem da interação partícula-partícula e partícula-soro na amostra.

FITO et al. (1983) estudaram o comportamento reológico de concentrado de tomate e constataram que a degradação de pectina resultou numa viscosidade mais baixa.

Segundo QUEIROZ (1998), a pectina foi identificada como o componente mais importante no comportamento reológico do suco de manga.

2.4 - Reologia dos fluidos

Reologia é a ciência que estuda a deformação dos corpos aparentemente contínuos e coesos. Refere-se também ao estudo do escoamento de pós, incluindo-se processos de atomização e emulsificação (MULLER, 1973).

Reologia é definida como a ciência da deformação e escoamento da matéria. (VARSHNEY & KUMBHAR, 1978).

De acordo com VAN WAZEN et al. (1963) reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento da matéria, através da aplicação de forças mecânicas sobre a mesma. O conhecimento da reologia tem grande importância no processamento de alimentos, voltando-se para temas como transferência de calor, perda de carga em tubulações e taxas de evaporação, fatores que influenciam diretamente na qualidade dos produtos alimentícios.

De acordo com FITO et al. (1983) o conhecimento das propriedades reológicas de produtos agrícolas submetidos ao processamento industrial é de suma importância no projeto de equipamentos industriais destinados a essas transformações e, também, como índice de qualidade dos produtos processados.

O estudo das relações entre a viscosidade e as características químicas e estruturais dos sucos e polpas de frutas, tem sido utilizado, porém às vezes esta relação é estudada de forma direta e sistemática. A maioria dos estudos realizados tem orientação no sentido de resolver um problema concreto e em determinado momento, razão por que os resultados têm validade parcial e não generalizada (COSTELL & DURÁN, 1982). Conforme esses autores há dificuldade em se estabelecer relações válidas entre a composição e a estrutura do produto e os parâmetros reológicos, já que os sucos e as polpas de frutas têm estruturas complexas e variáveis.

A viscosidade é uma significativa propriedade física dos fluidos alimentícios, relacionada com a qualidade de alimentos líquidos. Os dados de viscosidade também são fundamentais para o processamento de alimentos, projeto e avaliação de equipamentos

como bombas, tubulações, trocadores de calor, evaporadores, esterilizadores, filtros e misturadores (SARAVACOS, 1970).

A viscosidade de um líquido é função das forças intermoleculares que limitam o movimento molecular. Essas forças dependem dos espaçamentos intermoleculares que determinam o volume livre e são afetados pelas mudanças na temperatura e pressão (HOLDSWORTH, 1971).

A medida e o desenvolvimento de especificações da viscosidade constituem um problema difícil, quando os sistemas do produto exibem comportamento reológico complexo; por isso, pesquisadores interessados na elaboração de formulação, desenvolvimento de processo e controle de qualidade de produtos farmacêuticos, têm tentado, embora com muita dificuldade, avaliar o comportamento do escoamento desses produtos (SHETH, 1976).

De maneira geral, a classificação dos fluidos se dá pelo seu comportamento reológico, dividindo-se em newtonianos e não-newtonianos. Esta classificação envolve a determinação e a análise da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, para determinada condição de temperatura e pressão, depende também da concentração (HOLDSWORTH, 1971; HOLDSWORTH, 1973). A viscosidade também pode ser usada para classificar o comportamento de fluidos alimentícios (RAO & RIZVI, 1994).

Segundo PELEGRINE et al. (2000), o comportamento reológico dos sucos é influenciado pela sua composição, tanto quantitativa quanto qualitativa e, por consequência, depende do tipo de fruta e dos tratamentos realizados nos processos de elaboração.

2.4.1 - Fluidos newtonianos

Os fluidos newtonianos são aqueles que apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, na qual a viscosidade é influenciada pela temperatura e concentração, e independe da taxa de deformação e tensão de cisalhamento inicial. Alguns alimentos que se comportam como fluidos newtonianos, são: sucos de

frutas clarificados, soluções de sacarose, a maioria dos méis, xaropes de milho etc. (RAO & RIZVI, 1994; GONÇALVES, 1989).

Os fluidos newtonianos são definidos pela Equação 2.1.

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (2.1)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento, Pa

η - viscosidade, Pa s

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação, s⁻¹

Conforme RAO & ANANTHESWARAN (1982) vários alimentos como leite, xaropes, sucos diluídos filtrados e óleos vegetais, são fluidos newtonianos.

A consistência de um líquido newtoniano, como água, leite ou suco clarificado de frutas, pode ser caracterizada pelo termo viscosidade (VARSHNEY & KUMBHAR, 1978).

SARAVACOS (1970) estudando a viscosidade de sucos e polpas de várias frutas, verificou que o suco de maçã despectinizado e clarificado, com concentrações de 10 a 80°Brix, numa faixa de temperatura entre 20 e 70°C, apresentou comportamento newtoniano; o mesmo comportamento ocorreu para o suco não despectinizado e não clarificado, contendo quantidade significativa de partículas suspensas e coloidais, para concentrações inferiores a 50°Brix.

IBARZ et al. (1994), ao estudarem o suco de laranja clarificado, verificaram que este apresentou comportamento newtoniano.

2.4.2 - Fluidos não-newtonianos

Conforme RAO & RIZVI (1994) os fluidos que não seguem o mesmo comportamento dos newtonianos, são chamados não-newtonianos. Por outro lado, as propriedades reológicas dos fluidos não-newtonianos são influenciadas pela viscosidade aparente a uma taxa de deformação específica, tensão de cisalhamento e taxa de deformação.

Já MULLER (1973) define um fluido não-newtoniano como um líquido que apresenta fluxo uniforme, porém não apresenta uma relação constante entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação.

Muitos dos fluidos não-newtonianos podem ser descritos pela Equação 2.2, em que a viscosidade aparente (η_a) é função da taxa de deformação.

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.2)$$

em que:

η_a - viscosidade aparente (Pa s)

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

De acordo com HOLDSWORTH (1971) é conveniente dividir os fluidos não-newtonianos em três grandes grupos (independentes do tempo, dependentes do tempo e viscoelásticos), embora essas classificações não sejam totalmente distintas ou definidas; já RAO & RIZVI (1994) relataram a divisão dos fluidos alimentícios em apenas duas categorias: independentes do tempo e dependentes do tempo.

2.4.2.1 - Fluidos independentes do tempo

Fluidos independentes do tempo são aqueles em que a taxa de deformação depende somente da tensão de cisalhamento. Os fluidos que fazem parte dessa classe são os pseudoplásticos, dilatantes e plásticos de Bingham. De acordo com HOLDSWORTH (1971) o grupo mais importante dessa classe são os pseudoplásticos. Para outros pesquisadores, os fluidos independentes do tempo são divididos em apenas pseudoplásticos e dilatantes (MULLER, 1973; RAO & RIZVI, 1994).

Na Figura 2.2 estão representadas as curvas de escoamento dos fluidos newtonianos e não-newtonianos independentes do tempo.

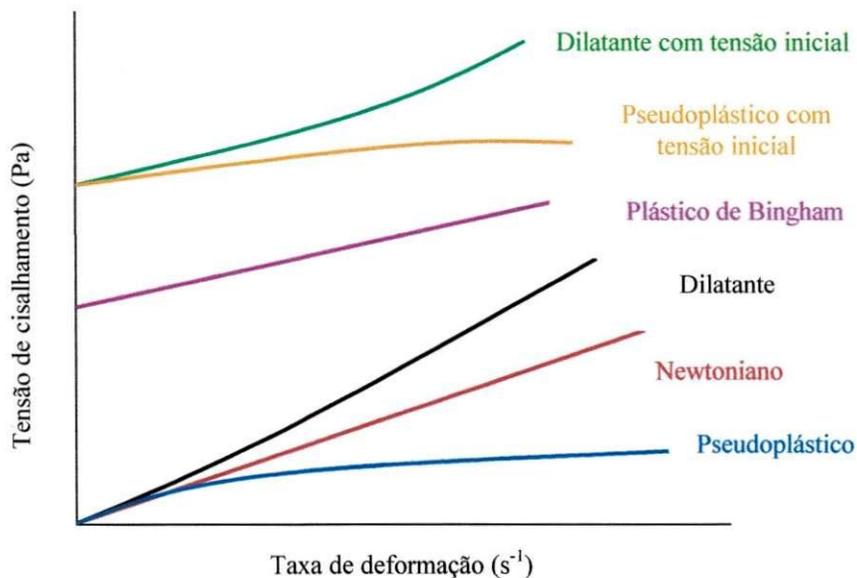


Figura 2.2 - Curvas do comportamento reológico de fluidos newtonianos e não-newtonianos independentes do tempo

2.4.2.1.1 - Fluidos pseudoplásticos

Dos fluidos independentes do tempo o grupo mais importante é o dos pseudoplásticos, nos quais a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação (HOLDSWORTH, 1971). De acordo com RAO & RIZVI (1994) os fluidos pseudoplásticos são aqueles em que a viscosidade aparente, a uma temperatura constante, depende apenas da taxa de deformação.

FITO et al. (1983) usaram um viscosímetro rotacional para determinar a viscosidade de duas amostras de concentrado de tomate em diferentes concentrações e temperaturas, e obtiveram valores de K e de n , que indicaram um comportamento tipicamente pseudoplástico.

Muitos alimentos, principalmente sucos de frutas, apresentam comportamento pseudoplástico; aqui são apresentados alguns alimentos com este comportamento. Para BRANCO & GASPARETTO (2003) misturas ternárias de polpa de manga, suco de laranja e de cenoura; para GOMES et al. (2001) suco de acerola; para QUEIROZ (1998) suco de manga e de abacaxi despectinizado; para CONCEIÇÃO (2000) e VITALI & RAO (1982) polpa de goiaba e suco concentrado de laranja.

JUSZCZAK et al. (2004) estudaram as propriedades reológicas de mostardas comerciais e verificaram comportamento não-newtoniano do tipo pseudoplástico (com tendência para apresentar tensão inicial) com características tixotrópicas.

2.4.2.1.2 - Fluidos dilatantes

Os fluidos dilatantes são independentes do tempo e raramente encontrados. Segundo Pryce-Jones, citado por HOLDSWORTH (1971) o exemplo mais notório de fluido dilatante é o mel de abelha.

Para MULLER (1973) nos fluidos dilatantes a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação, sendo o oposto dos fluidos pseudoplásticos.

PEREIRA et al. (2003), estudaram o comportamento reológico de amostras do mel de abelha uruçu nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C e verificaram que as mesmas apresentaram comportamento de fluidos dilatantes.

De acordo com DIK & ÖZILGEN (1994), farinha de milho, goma e soluções de açúcar, são alguns alimentos que apresentam comportamento de fluidos do tipo dilatante.

2.4.2.2 - Fluidos dependentes do tempo

Fluidos dependentes do tempo (fluidos de Boltzmann) são os fluidos cuja taxa de deformação depende da magnitude e da duração da tensão de cisalhamento. O intervalo de tempo entre sucessivas ações cisalhantes também pode ser afetado pela taxa de deformação (HOLDSWORTH, 1971).

Normalmente, os fluidos dependentes do tempo são divididos em dois grupos; nos fluidos tixotrópicos e nos reopéticos, dependendo se a tensão de cisalhamento diminui ou aumenta com o tempo (HOLDSWORTH, 1971; MULLER, 1973).

Na Figura 2.3 estão apresentadas, graficamente, as curvas de escoamento de fluidos dependentes do tempo.

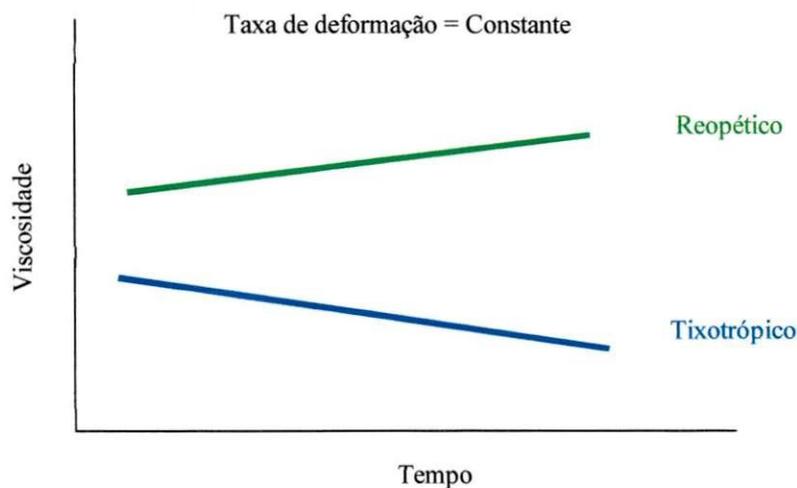


Figura 2.3 – Diagrama esquemático do comportamento reológico de fluidos dependentes do tempo

2.4.2.2.1 - Fluidos tixotrópicos

Em fluidos tixotrópicos com taxa de deformação fixa, a viscosidade diminui com o tempo (RAO & RIZVI, 1994). Conforme GONÇALVES (1989), suco de maçã com polpa, suco concentrado de maracujá, alguns méis de abelha, leite condensado e açucarado, clara de ovo e maionese, são produtos alimentícios considerados tixotrópicos.

Conforme SARAVACOS (1970) o suco de maçã concentrado a 65,5°Brix e com temperaturas menores que 50°C, apresenta propriedades tixotrópicas.

2.4.2.2.2 - Fluidos reopéticos

Nos fluidos reopéticos com taxa de deformação fixa, a viscosidade aumenta com o tempo (RAO & RIZVI, 1994); assim, os fluidos apresentam comportamento contrário aos tixotrópicas.

De acordo com MULLER (1973) estes fluidos apresentam tensão de cisalhamento versus taxa de deformação com uma relação curvilínea. São opostos aos tixotrópicas e, desta forma, podem ser interpretados como fluidos de tixotropia negativa.

BEZERRA (1997) refere-se a creme chantilly e clara de ovos em neve, como exemplos de fluidos reopéticos

2.4.2.3 - Fluidos viscoelásticos

Alguns fluidos demonstram propriedades viscosas e elásticas, razão pela qual são denominados fluidos viscoelásticos. De acordo com HOLDSWORTH (1971) esses materiais dependem de uma força de recuperação elástica para que ocorra a diminuição da tensão de cisalhamento. Tais materiais se apresentam elásticos e são bem representados em alimentos com características viscosas, porém a maioria dos modelos para interpretação da deformação e escoamento tem sido aplicada a produtos sólidos, como batatas e maçãs.

Nata de leite é um exemplo de alimento viscoelástico (Prentice, citado por RAO & RIZVI, 1994).

2.5 – Reometria

Reometria é a determinação experimental do comportamento de escoamento (fluxo) e das propriedades viscoelásticas de materiais; este comportamento pode ser determinado utilizando-se viscosímetros e/ou reômetros.

Segundo STEFFE (1996) os reômetros são instrumentos capazes de medir propriedades reológicas de alimentos fluidos e semi-sólidos, enquanto os viscosímetros são aparelhos mais simples, e só medem a viscosidade. Os referidos instrumentos, têm sido divididos em duas categorias: no tipo rotacional (cone e placa, placas paralelas, e cilindro concêntrico) e no tipo tubo. Os viscosímetros do tipo rotacional podem ser operados para taxa de deformação fixa (velocidade angular constante) ou oscilatório (modo dinâmico). O sistema cone placa é capaz de determinar diferenças de tensões normais. Pardden & Dewitt, citados por esse autor, usaram sistemas de cilindros concêntricos em pesquisa para avaliar estas diferenças.

As duas mais importantes categorias de instrumentos reológicos são apresentadas na Figura 2.4.

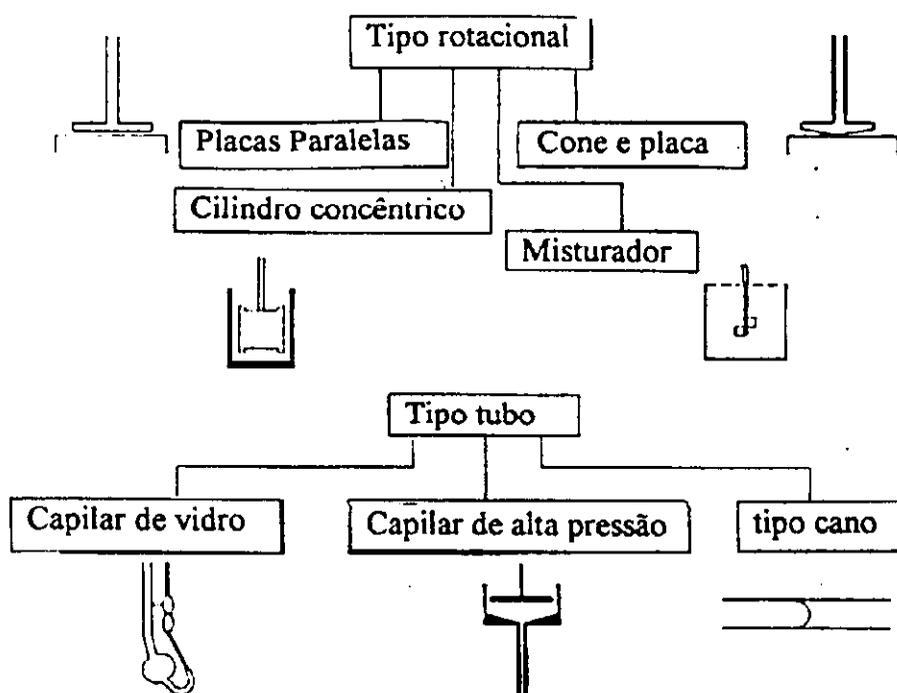


Figura 2.4 – Instrumentos reológicos das categorias tipo rotacional e tipo tubo (STEFFE, 1996)

RAO & RIZVI (1994) reportam que vários instrumentos são empregados para medir as propriedades reológicas através de métodos fundamentais; alguns estão disponíveis comercialmente, muitos deles foram projetados para uso em diferentes materiais, inclusive muitos dos fluidos alimentícios. O termo viscosímetro é usado para instrumentos que fornecem informações sobre a viscosidade, enquanto o termo reômetro é tido para instrumentos que fornecem maior número de informações. Os autores mencionam, ainda, alguns exemplos, como viscosímetro de fluxo capilar, de cone-placa, de placas paralelas, viscosímetros de fluxo de Couette (cilindro concêntrico) etc.

De acordo com VAN WAZEN et al. (1963) o primeiro viscosímetro rotacional foi inventado por Couette, em 1890. O viscosímetro de cilindro-concêntrico de Couette consistia de um corpo giratório e um cilindro interno, apoiados por uma mola de torção. O projeto desse viscosímetro permitia que a viscosidade aparente fosse calculada com mínima margem de erro. A teoria do viscosímetro rotacional consiste em um corpo giratório imerso num líquido viscoso, no qual faz um arraste. A quantidade do líquido arrastado é função da velocidade de rotação do corpo. Conforme esses pesquisadores, a viscosidade será a mesma, e independe, se é o corpo ou o recipiente que gira. A principal vantagem do uso do viscosímetro rotacional é que as medidas contínuas a determinada taxa de deformação ou tensão de cisalhamento, podem ser feitas por períodos prolongados.

Segundo VAN WAZEN et al. (1963) o viscosímetro Brookfield é um aparelho tipo rotacional. Dependendo do modelo, esses instrumentos possuem quatro ou oito velocidades de rotação e essas velocidades são transmitidas por um conjunto de engrenagens; possuem um dial circular, no qual tem uma escala com ponteiro registrador. Os spindles são presos a um pivô de engate externo; quando o spindle é imerso na amostra fluida e o entra em funcionamento, ocorre resistência às forças de arraste do motor, sendo que este arraste é detectado como força de tensão na mola e registrado pelo desvio no dial que é referente à viscosidade do fluido. Esses aparelhos possuem molas de torção para diferentes graus de dificuldade, conforme o modelo. Os viscosímetros dispõem de suportes de proteção removíveis, que protegem o spindle durante a operação; para os modelos LV e RV, o suporte de proteção do spindle é opcional, conforme o local e o material em que o instrumento seja empregado. De acordo com o modelo, esses instrumentos podem vir acompanhados de seis ou sete spindles de disco ou, ainda, de um conjunto de spindles cilíndricos.

2.5.1 – Modelos reológicos

Modelos reológicos são aplicações matemáticas usadas para representar e analisar, através dos dados, a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação de um fluido e avaliar a influência das propriedades físicas, servindo de base para implantação de projetos de processamento de alimentos fluidos.

Conforme BEZERRA (2000), os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH, índice de maturação etc; tal conhecimento é indispensável no controle de qualidade, controle intermediário em linhas de produção e, no projeto e dimensionamento de equipamentos e processos, enquanto esses modelos podem ser isotérmicos ou não-isotérmicos. No primeiro caso, descrevem o comportamento do fluido numa temperatura fixa; no último, incluem relações específicas, como funções da temperatura e, dependendo do modelo utilizado, possuem ou não tensão inicial.

2.5.1.1 - Modelo de Casson

Segundo VITALI & RAO (1984) o modelo de Casson é de uso simples e pode ser empregado para verificar a presença de tensão de cisalhamento inicial em fluidos alimentícios.

RAO & RIZVI (1994) mencionam que o modelo de Casson (Eq. 2.3) tem sido usado para alimentos e, particularmente, para estimar a tensão inicial. Esses mesmos autores reportam que o modelo de Casson tem sido adotado como método oficial, pelo “International Office of Cocoa and Chocolate”, para interpretação do comportamento reológico de chocolate.

De acordo com HOLDSWORTH (1971) o modelo de Casson foi desenvolvido para fluidos não tixotrópicos e com suspensão de partículas.

$$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0,5} \quad (2.3)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

K_{0C} ,- tensão de cisalhamento inicial (Pa)^{0,5}

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s)^{0,5}

JUSZCZAK et al. (2004), estudando as propriedades reológicas de mostardas comerciais ajustadas com vários modelos reológicos, verificaram que o modelo de Casson com o expoente 0,25, apresentou um ajuste melhor que o tradicional, com expoente 0,5.

2.5.1.2 - Modelo da Lei da Potência

BRANCO & GASPARETTO (2003) utilizaram o modelo reológico de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) na caracterização reológica de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja, por se ajustar bem aos dados experimentais e ser um modelo simples e de ampla aplicação tecnológica.

Segundo PELEGRINE et al. (2002) o modelo de Ostwald-de-Waelle é um dos mais usados com dois parâmetros; é utilizado para demonstrar o efeito do material em suspensão e é descrito conforme a Eq. 2.4.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (2.4)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

K - índice de consistência (Pa sⁿ)

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

As principais aplicações da Lei da Potência são para predição do fluxo a ser bombeado, predição das propriedades de fluxo relacionadas com transferência de calor e para propriedades de fluxo de misturas, com relação a sistemas bioquímicos (HOLDSWORTH, 1971).

JUSZCZAK et al. (2004), estudaram as propriedades reológicas de mostardas comerciais ajustadas com o modelo da Lei da Potência e notaram que esse modelo teve melhor ajuste aos dados experimentais, apresentando valores de $R^2 > 0,98$; todavia ele não leva em conta a tensão inicial, apesar de se tratar de um parâmetro importante.

2.5.1.3 - Modelo de Herschel-Bulkley

RAO & COOLEY (1983) afirmaram que o modelo de Herschel-Bulkley (Equação 2.5) é uma forma modificada do modelo da Lei da Potência, sendo-lhe acrescentado o termo tensão inicial de cisalhamento.

SHARMA et al. (1996) reportam ao fato de que o modelo de Herschel-Bulkley, pelo motivo de possuir o termo tensão inicial, pode ser empregado para calcular dados experimentais de fluidos com tensão inicial. Esses autores estudaram as propriedades reológicas de polpa de tomate e verificaram que o esse modelo ajustou satisfatoriamente os dados da relação tensão de cisalhamento versus taxa de deformação.

$$\tau - \tau_{OH} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2.5)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

τ_{OH} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_H - índice de consistência ($Pa s^n$)

n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional)

2.5.1.4 - Modelo de Vocadlo

Vocadlo e Charles, citados por RAO & COOLEY (1983) mencionaram que o modelo de Vocadlo foi derivado do modelo da Lei da Potência para descrever substâncias viscoplásticas, mas, RAO & COOLEY (1983) o empregaram para concentrados de tomate, obtendo valores da tensão inicial. Este modelo não descreveu bem dados com baixas taxas de deformação. São semelhante ao modelo da Lei da Potência quando τ_{OV} é igual a zero, e ao modelo Plástico de Bingham, quando $n_v = 1$. O modelo de Vocadlo é dado na Equação.

2.6.

$$\tau = \left(\tau_{OV}^{1/n_v} + K_v \dot{\gamma} \right)^{n_v} \quad (2.6)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

τ_{OV} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_v - índice de consistência ($Pa \cdot s^n$)

n_v - índice de comportamento do fluido (adimensional)

2.5.1.5 – Modelo de Mizrahi-Berk

O modelo de Mizrahi-Berk é um dos modelos reológicos mais usados para determinação do comportamento reológico de vários fluidos alimentícios, sobretudo sucos e polpas de frutas.

O modelo de Mizrahi-Berk foi desenvolvido com base no modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico; é uma modificação do modelo de Casson com a eliminação do expoente 0,5 do índice de comportamento do fluido (MIZRAHI & BERK, 1972).

O modelo de Mizrahi-Berk, conforme RAO & RIZVI (1994) é empregado para descrever os dados da relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação do suco concentrado de laranja.

PELEGRINE et al. (2002) estudaram o comportamento reológico de polpas de abacaxi e manga e concluíram que o modelo reológico de Mizrahi-Berk descreveu bem os dados experimentais, sendo descrito como o preferido também, para polpas complexas com alto conteúdo de sólidos insolúveis. Constataram, ainda, que a presença de partículas suspensas exerceu grande influência sobre a viscosidade de ambas as polpas.

2.5.1.6 – Modelo Plástico de Bingham

De acordo com HOLDSWORTH (1971) alguns produtos que apresentam tensão inicial e se comportam como fluidos newtonianos, são conhecidos como fluidos de Bingham.

2.6 – Efeito da temperatura e concentração na reologia de fluidos alimentícios

No estudo reológico de alimentos fluidos deve-se levar em consideração a concentração e a temperatura, dois fatores muito importantes, tanto para as etapas de processamento industrial como para a qualidade e conservação desses alimentos.

O comportamento reológico de alimentos fluidos é complexo e é influenciado por numerosos fatores, como a taxa de deformação, temperatura e umidade (STEFFE, 1996).

De acordo com RAO & RIZVI (1994) os fluidos alimentícios são submetidos a diferentes temperaturas durante o processamento, armazenamento, transporte, comercialização e consumo, motivo pelo qual as propriedades reológicas são estudadas como função da temperatura. Esses autores relatam que geralmente, o efeito da temperatura sobre a viscosidade ou, a viscosidade aparente, determinado a uma taxa de deformação específica, pode ser expressa pela relação de Arrhenius.

BRANCO & GASPARETTO (2003) estudaram o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura, pelo modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), e concluíram que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da temperatura, enquanto o parâmetro K aumentou com o aumento de temperatura. O índice de consistência e principalmente, a viscosidade aparente, aumentaram com o aumento proporcional da polpa de manga, mostrando que esses parâmetros são diretamente influenciados pela composição química da polpa; contrariamente a isso, observaram que, com maiores proporções de sucos de laranja e cenoura, menores foram os valores do índice de consistência e viscosidade aparente, e maiores os valores do índice de comportamento do fluido. Afirmaram que a elevação da temperatura acarretou a utilização de modelos mais elaborados para predição do comportamento.

Segundo SARAVACOS (1970) em purês e polpas de fruta a viscosidade depende principalmente da concentração, do tamanho e forma das partículas suspensas. A contribuição do soro para viscosidade é relativamente pequena, exceto em purês concentrados. Quando analisou o efeito da temperatura sobre as propriedades de escoamento de sólidos suspensos, notou que o efeito sobre a viscosidade foi bastante pequeno, enquanto o efeito da temperatura foi mais significativo quando a viscosidade do soro foi relativamente mais alta, como em purês concentrados ou, ainda, quando se acrescentou açúcar ao purê. Contrastando com vários sucos de frutas, a temperatura exerceu efeito bastante pequeno na viscosidade aparente de purês de frutas. O índice de consistência (K) diminuiu ligeiramente a temperaturas mais altas, enquanto o índice de comportamento do fluido (n) permaneceu praticamente constante. Para os três purês, o valor de (n) foi aproximadamente igual a 0,30. Afirmaram ainda que o molho de maçã se comportou como fluido tixotrópico, influenciado sobretudo pelo tamanho das partículas suspensas e sua viscosidade aparente mostrou-se menos dependente da temperatura.

HOLDSWORTH (1973) estudou a consistência e textura de produtos de frutas e constatou que a maioria dos sucos de frutas clarificados e que foram despectinizados, apresentaram pequeno conteúdo de pectina ou se comportaram como fluidos newtonianos; no entanto, com maiores quantidades dessa substância, como também com o aumento de outros componentes suspensos e coloidais tornaram-se não-newtonianos. A viscosidade do suco de maçã clarificado apresentou ligeiro aumento com concentrações acima de 45°Brix

e decréscimo com a elevação da temperatura. O efeito da temperatura foi bastante evidente com 75°Brix; já o suco turvo ou não clarificado apresentou comportamento não-newtoniano nas concentrações maiores de 50°Brix e o valor de η diminuiu de 0,85 a 50°Brix para 0,65 a 65,5°Brix.

SHARMA et al. (1996), estudaram o efeito da composição da polpa de tomate de seis cultivares sobre as propriedades reológicas e notaram que a composição afetou a tensão inicial, o índice de consistência e o índice de comportamento das diferentes cultivares. A tensão inicial aumentou com o aumento dos sólidos insolúveis e pectina, em cinco das cultivares estudadas.

MATSUURA et al. (1998) estudando o comportamento reológico de suco de acerola em diferentes concentrações e temperaturas, verificaram que os valores do índice de consistência (K), diminuíram com o aumento da temperatura mas aumentaram com o aumento da concentração; o mesmo foi observado para a viscosidade aparente enquanto, de modo geral, o índice de comportamento do fluido (n) aumentou.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, em Campina Grande, PB.

3.1 - Aquisição da matéria-prima e obtenção da polpa

Neste trabalho, utilizou-se como matéria-prima o figo-da-índia (Figuras 3.1 e 3.2) também conhecido como fruta da palma (*Opuntia ficus-indica* Mill.), adquiridos no município de Queimadas, PB.



Figura 3.1 – Foto de figos-da-índia, inteiros



Figura 3.2 – Foto do figo-da-índia, cortado ao meio no sentido longitudinal

O fluxograma para obtenção da polpa do figo-da-índia está representado na Figura 3.3.

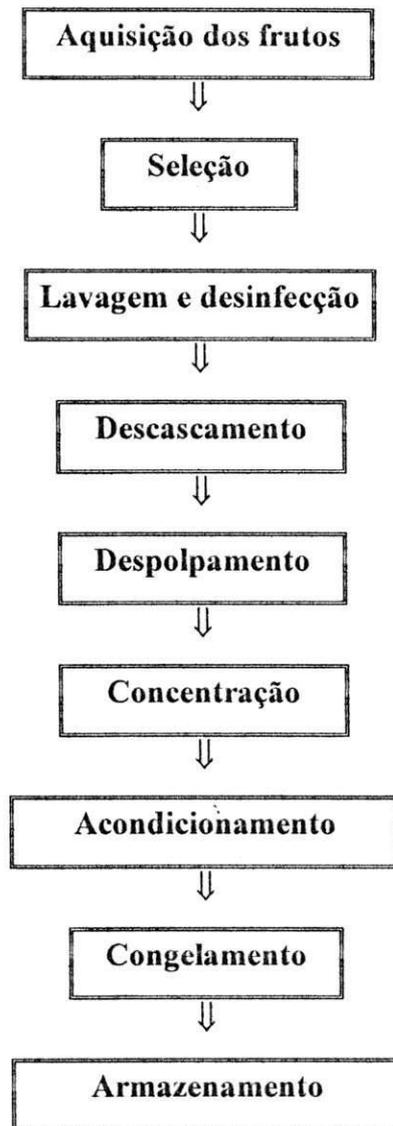


Figura 3.3 - Fluxograma do processamento do figo-da-índia para obtenção da polpa

3.1.1 - Seleção

A seleção das frutas foi feita manualmente, primando-se pelas de melhor aparência, sem danos físicos, com estágio de maturação variando de semi-maduro a maduro.

3.1.2 - Lavagem e desinfecção

As frutas foram lavadas em água corrente, em seguida imersas em solução de hipoclorito de sódio a 20 ppm durante 15 minutos e, atingido esse tempo, fez-se um enxágüe em água corrente.

3.1.3 - Descascamento

O descascamento foi manual, utilizando-se faca de aço inoxidável, cortando-se as frutas nas extremidades e em seguida no comprimento, para extração da polpa.

3.1.4 - Despolpamento

O despolpamento foi realizado em despolpadeira mecânica horizontal, da marca LABOREMUS modelo DF – 200

3.1.5 - Concentração

A polpa do figo-da-índia foi concentrada, até atingir os teores de sólidos solúveis totais de 16, 19, 22, 25 e 28°Brix obtidos pelo uso de um evaporador rotativo da marca QUIMIS, modelo Q-344B2, auxiliado por uma bomba a vácuo, também da marca QUIMIS modelo Q-355D2.

3.1.6 - Acondicionamento

As polpas foram acondicionadas em embalagens de polietileno de baixa densidade, contendo 500 g cada uma.

3.1.7 - Congelamento

Para o congelamento imergiram-se as polpas embaladas em nitrogênio líquido, numa temperatura de -196°C .

3.1.8 - Armazenamento

Após o congelamento, fez-se o armazenamento das polpas em freezer horizontal, a uma temperatura aproximada de -20°C .

3.2 - Análises físico-químicas da polpa

3.2.1 - pH

Para determinação do pH utilizou-se o método potenciométrico, com pHmetro da marca Analyser, modelo 300M, o qual foi calibrado com as soluções tampão de pH 7,0 e 4,0.

3.2.2 - Sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$)

A determinação dos sólidos solúveis totais expressos em $^{\circ}\text{Brix}$, foi realizada em triplicata, colocando-se duas gotas da polpa no prisma do refratômetro, marca QUIMIS, modelo Q-109B e se fazendo a leitura direta.

3.2.3 - Sólidos insolúveis em água

Para determinação dos sólidos insolúveis em água utilizou-se a metodologia do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985). O princípio deste método tem, como base, a

filtração da amostra dissolvida em água quente, retendo os sólidos insolúveis em papel de filtro Whatman nº 4.

3.2.4 - Sólidos totais/Umidade

As determinações dos sólidos totais e umidade foram realizadas obedecendo as Normas Analíticas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

3.2.5 – Pectina

Quanto à determinação da pectina, utilizou-se o método de Carré e Haynes (PEARSON, 1970), que tem, como base, o princípio da neutralização das cargas dos resíduos de ácidos urônicos livres pelos íons de cálcio, provocando a geleificação da pectina e sua precipitação. Os resultados obtidos foram expressos em percentagem de pectato de cálcio (p/p).

3.3 - Reologia

A polpa integral (13°Brix) do figo-da-índia, material que não recebeu nenhum tipo de tratamento químico ou físico, e as polpas concentradas (16, 19, 22, 25 e 28°Brix) foram utilizadas para realização das medidas reológicas, com um viscosímetro de marca Brookfield, modelo RVT. As leituras dos torques nas amostras foram feitas em sextuplicata, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C, mantidas com o auxílio de um banho termostático com circulação forçada de água. As velocidades de rotação empregadas, foram 0,5, 1,0, 2,5, 5,0, 10, 20, 50 e 100 rpm.

3.3.1 - Conversão dos dados experimentais

Para transformar as leituras dos torques em medidas reológicas lançou-se mão da metodologia proposta por MITSCHKA (1982).

3.3.1.1 - Tensão de cisalhamento

As tensões de cisalhamento em Pa, foram obtidas pela multiplicação dos valores da leitura do torque pelo fator k_{α} , correspondente ao spindle utilizado (Eq. 3.1).

$$\tau_i = k_{\alpha} \alpha_i \quad (3.1)$$

em que:

τ_i - tensão de cisalhamento (Pa)

k_{α} - fator correspondente ao spindle utilizado

α_i - leitura do torque

3.3.1.2 - Taxa de deformação

Determinou-se a taxa de deformação multiplicando-se o fator $k_{N\gamma}$, que varia com o índice de comportamento do fluido e do spindle utilizado pela velocidade de rotação (Eq. 3.2).

$$\dot{\gamma}_i = k_{N\gamma} N_i \quad (3.2)$$

em que:

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

$k_{N\gamma}$ - fator variável com o índice de comportamento do fluido e do spindle utilizado

N_i - velocidade de rotação (rpm)

3.3.2 - Viscosidade aparente

As viscosidades aparentes foram determinadas por conversão direta da leitura de torque, seguindo procedimento descrito no manual do equipamento.

3.3.3 – Modelos reológicos

Os modelos reológicos utilizados para ajuste das curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, foram: Casson (Eq. 3.3), Herschel-Bulkley (Eq. 3.4), Ostwald-de-Waele ou Lei da Potência (Eq. 3.5) e Vocadlo (Eq. 3.6).

Casson

$$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0,5} \quad (3.3)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

K_{0C} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)^{0,5}

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa.s)^{0,5}

Herschel Bulkley

$$\tau - \tau_{OH} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3.4)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

τ_{OH} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_H - índice de consistência (Pa.sⁿ)

n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Ostwald-de-Waele ou Lei da Potência

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (3.5)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

K - índice de consistência (Pa.sⁿ)

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Vocadlo

$$\tau = \left(\tau_{OV}^{1/n_V} + K_V \dot{\gamma} \right)^{n_V} \quad (3.6)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

τ_{OV} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_V - índice de consistência (Pa.sⁿ)

n_V - índice de comportamento do fluido (adimensional)

3.4 – Tratamento dos dados

As análises de variância dos valores das caracterizações físico-químicas e das viscosidades aparentes e a comparação entre médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de

probabilidade, foram realizadas utilizando-se o programa computacional ASSISTAT, versão 7.1 (SILVA & AZEVEDO, 2002).

Para determinação dos parâmetros de cada modelo reológico utilizou-se o programa computacional STATISTICA, versão 5.0, por regressão não-linear, método Quasi-Newton. A escolha do melhor ajuste se deu tomando-se como base o coeficiente de determinação (R^2).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Caracterização físico-química

Os valores obtidos para os sólidos totais, umidade, pectina, pH e sólidos insolúveis em água das polpas do figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28°Brix encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

O teor de sólidos totais (Tabela 4.1) da polpa integral do figo-da-índia é inferior ao encontrado por SAWAYA et al. (1983) que foi de 14,5%. Este valor, entretanto, está próximo ao valor mínimo (10,5%) de qualidade para a polpa de mamão (BRASIL, 2000). Observam-se, ainda, aumentos nos teores de sólidos totais com a concentração das amostras, atingindo os 28°Brix, um aumento percentual de 136% em relação à amostra a 13°Brix.

Tabela 4.1 - Valores médios dos sólidos totais para as polpas de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28°Brix:

Concentração (°Brix)	Sólidos totais (%)
13	11,82 f
16	15,56 e
19	18,60 d
22	20,62 c
25	24,38 b
28	27,90 a

DMS = 1,52; MG = 19,81%; CV = 2,81%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Pelos valores médios de umidade para as polpas de figo-da-índia, apresentados na Tabela 4.2, verificam-se diferenças significativas entre as umidades de todas as amostras, com reduções progressivas entre concentrações subseqüentes. Entre as amostras com maior e menor concentração, tem-se uma diferença de 18% no conteúdo médio de umidade.

Pimenta, citado por HERNÁNDEZ (2001) encontrou valor médio de umidade da polpa integral, nesta mesma faixa de valores (85-90%).

Tabela 4.2 - Valores médios da umidade para a polpa de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28°Brix

Concentração (°Brix)	Umidade (%)
13	88,18 a
16	84,44 b
19	81,40 c
22	79,38 d
25	75,62 e
28	72,10 f

DMS =1,59; MG =80,17%; CV = 0,72%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Dos valores médios de pectina das polpas, de figo-da-índia, apresentados na Tabela 4.3, verifica-se que a polpa integral possui teor de pectina médio na mesma faixa do determinado por SEPÚLVEDA & SÁENZ (1999), de 0,04% ao estudarem as características tecnológicas da polpa de figo-da-índia do tipo “laranja”; esses autores, porém, em trabalho anterior (SEPÚLVEDA & SÁENZ, 1990) reportaram um valor de 0,17%, superior, portanto, em mais de 300%. No presente trabalho os teores de pectina aumentaram com a concentração atingindo, na polpa concentrada a 28°Brix, o triplo do valor determinado na polpa a 13°Brix.

Tabela 4.3 - Valores médios de pectina para a polpa de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28°Brix

Concentração (°Brix)	Pectina (% pectato de cálcio)
13	0,03 e
16	0,04 e
19	0,05 d
22	0,07 c
25	0,08 b
28	0,09 a

DMS =0,01; MG =0,06%; CV = 8,12%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Pelos valores médios de pH apresentados na Tabela 4.4 vê-se que os valores decresceram com a concentração, porém em pequena proporção, cuja diferença entre as amostras a 13 e a 28°Brix pouco ultrapassou 3%. O pH da polpa integral está na mesma faixa do determinado por SEPÚLVEDA & SÁENZ (1990), porém esse valor é alto quando comparado com a maioria das frutas, como o cupuaçu, cuja polpa tem pH 3,54 (CABRAL, 2001) e com a polpa de goiaba que possui pH 3,89 (CONCEIÇÃO, 2000).

GURRIERI et al. (2000), estudaram o suco integral de figo-da-índia das cultivares vermelho, amarelo e branco e obtiveram os seguintes valores de pH: vermelho (6,40), amarelo (6,44) e branco (6,48).

Tabela 4.4 - Valores médios de pH para a polpa de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28°Brix

Concentração (°Brix)	pH
13	6,45 a
16	6,41 a
19	6,36 b
22	6,33 bc
25	6,31 c
28	6,24 d

DMS =0,05; MG =6,35; CV = 0,26%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Os valores médios de sólidos insolúveis apresentados na Tabela 4.5, seguem a mesma tendência observada no teor de sólidos totais. Verificam-se aumentos progressivos do teor de sólidos insolúveis com o aumento da concentração, culminando com uma diferença superior a 160% entre as polpas, a 13 e a 28°Brix. Os sólidos insolúveis da polpa integral de figo-da-índia estão abaixo dos encontrados por BEZERRA (2000) para a polpa de manga 1,08%.

Tabela 4.5 - Valores médios de sólidos insolúveis para a polpa de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28°Brix

Concentração (°Brix)	Sólidos insolúveis (%)
13	0,42 f
16	0,55 e
19	0,70 d
22	0,81 c
25	0,94 b
28	1,10 a

DMS =0,04; MG =0,75%; CV = 1,96%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Os valores obtidos para os sólidos totais, umidade, pectina, pH e sólidos insolúveis em água, para as polpas de figo-da-índia, nas concentrações 13 a 28°Brix, encontram-se representados graficamente nas Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

Nas Figuras 4.1, 4.3 e 4.4, observa-se crescimento dos valores de pectina, sólidos insolúveis e sólidos totais, respectivamente, com o aumento da concentração; percebe-se também que todas as retas se apresentam em sentido crescente; em termos de ajuste, passam muito próximas aos pontos referentes a cada concentração. Os valores de pectina, sólidos insolúveis e sólidos totais, têm bom ajuste pela equação linear, resultando para a pectina, num coeficiente de determinação (R^2) de 0,98% e de 0,99% para os sólidos insolúveis e totais.

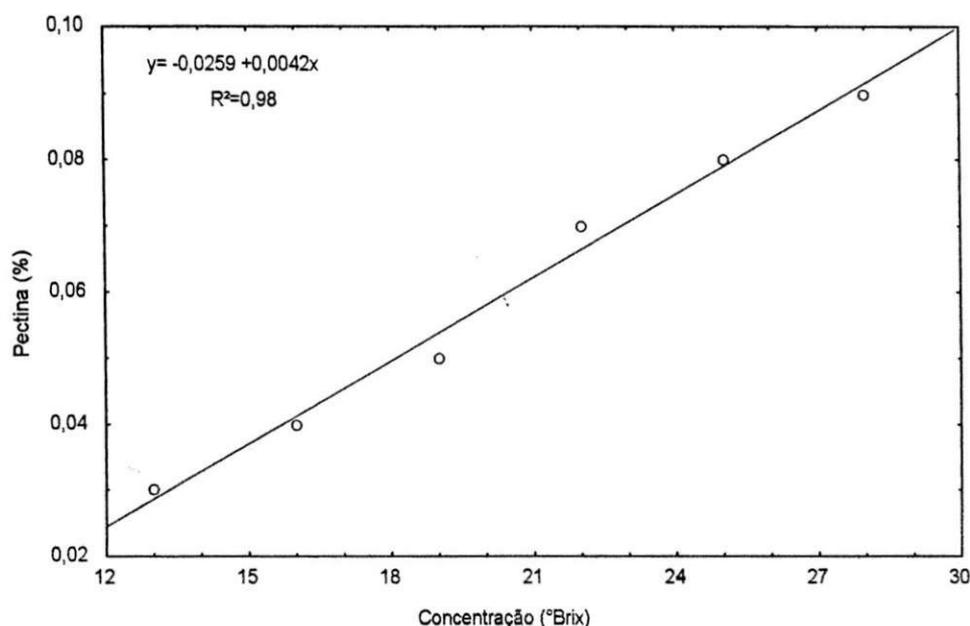


Figura 4.1 – Valores de pectina para a polpa de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações

Nas Figuras 4.2 e 4.5 observam-se decréscimos dos valores de pH e umidade, respectivamente, com o aumento da concentração, toda as retas se apresentam em sentido decrescente; em termos de ajuste, passam muito próximas aos pontos referentes a cada concentração. Os valores de pH e umidade apresentam, também, bom ajuste pela equação linear, resultando num R^2 de 0,97% para o pH e de 0,99% para a umidade.

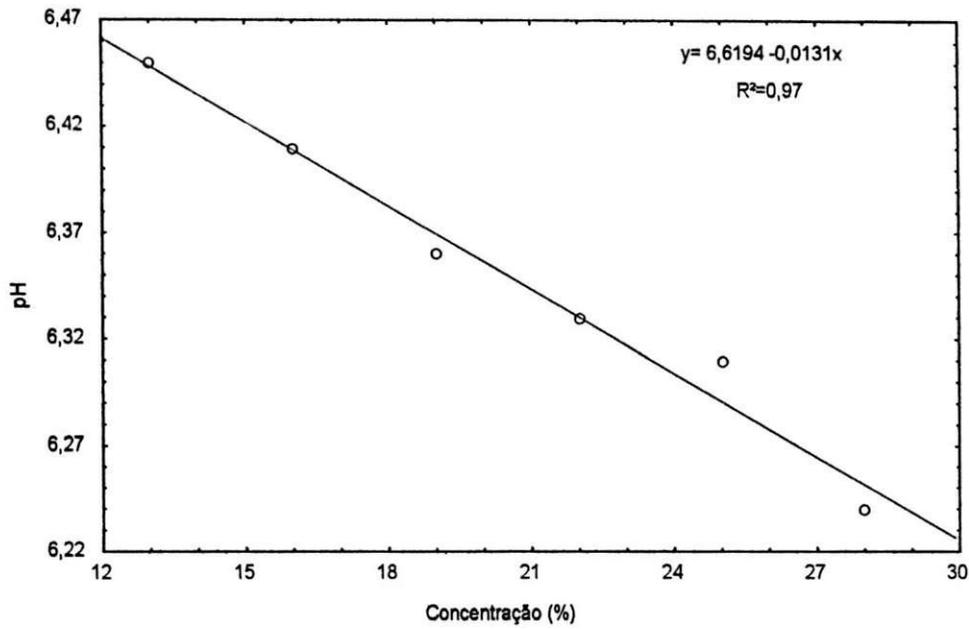


Figura 4.2 – Valores de pH para a polpa de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações

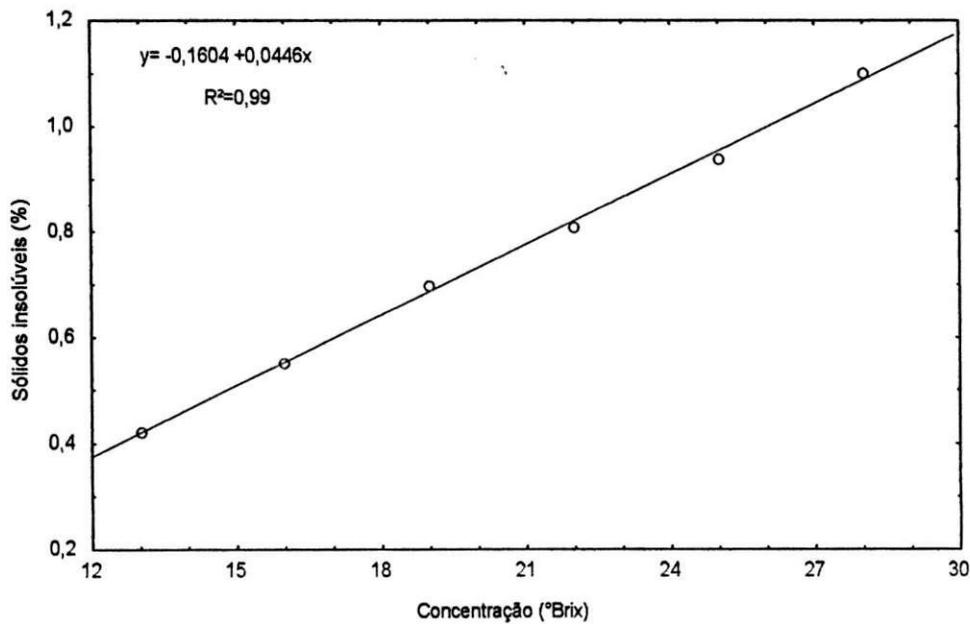


Figura 4.3 – Valores dos sólidos insolúveis para a polpa de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações

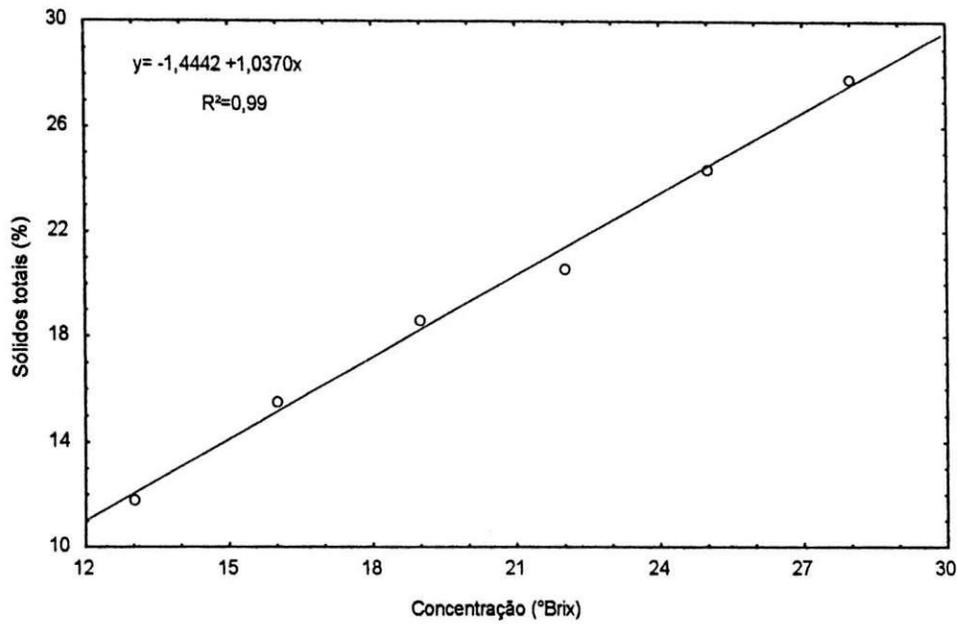


Figura 4.4 – Valores de sólidos totais para a polpa de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações

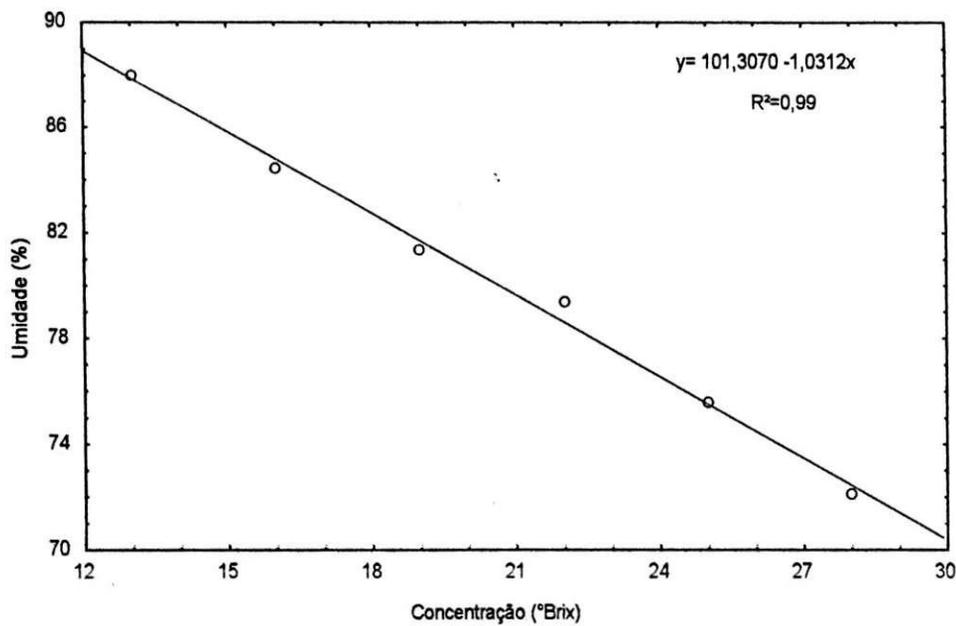


Figura 4.5 – Valores de umidade para a polpa de figo-da-índia, em função das diferentes concentrações

4.2 – Reometria

4.2.1 – Modelo de Casson

Na Tabela 4.6 são apresentados os parâmetros de ajuste do modelo de Casson e os coeficientes de determinação (R^2). Verificam-se aumentos dos valores de K_c com o aumento da concentração, em que os menores valores se acham em torno de $0,17 \text{ (Pa s)}^{0,5}$ para a amostra a 13°Brix e os maiores próximos a $0,43 \text{ (Pa s)}^{0,5}$; para a amostra a 28°Brix , de forma geral, apresentam tendência de diminuição com o aumento da temperatura. CABRAL (2001) trabalhando com polpa de cupuaçu, também observou aumentos em K_c com o incremento da concentração.

De maneira geral, observa-se diminuição dos valores do parâmetro K_{0c} com o aumento da temperatura, e aumento desses valores com a elevação da concentração. Comportamento semelhante da influência da temperatura sobre este parâmetro, também foi constatado por CONCEIÇÃO (2000), em polpa de goiaba.

O coeficiente de determinação (R^2) resultou em valores entre 0,85 e 0,98, demonstrando ajustes satisfatórios aos dados experimentais.

Tabela 4.6 - Parâmetros do modelo de Casson e coeficientes de determinação (R^2) para as polpas de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28^oBrix

Conc. (°Brix)	Temp. (°C)	Parâmetros		
		$K_{0c} (\text{Pa})^{0,5}$	$K_c (\text{Pa s})^{0,5}$	R^2
13	10	1,0092	0,1728	0,9821
	20	0,9594	0,1731	0,9840
	30	0,8997	0,1678	0,9769
	40	0,8452	0,1734	0,9750
	50	0,7884	0,1748	0,9698
	60	0,7237	0,1844	0,9634
16	10	1,2580	0,2391	0,9659
	20	1,2334	0,2309	0,9660
	30	1,2064	0,2219	0,9683
	40	1,1495	0,2207	0,9681
	50	1,0978	0,2199	0,9761
	60	1,0157	0,2223	0,9884
19	10	1,6763	0,2995	0,8574
	20	1,5960	0,3096	0,8626
	30	1,4923	0,3245	0,8846
	40	1,4558	0,2635	0,9383
	50	1,3710	0,2439	0,9622
	60	1,3051	0,2394	0,9580
22	10	2,0582	0,3359	0,8971
	20	2,0209	0,3364	0,8978
	30	1,9584	0,3283	0,8986
	40	1,8430	0,3227	0,9323
	50	1,7760	0,3179	0,9478
	60	1,7001	0,3234	0,9578
25	10	2,2162	0,4232	0,9608
	20	2,3722	0,3490	0,8602
	30	2,1772	0,3569	0,8814
	40	2,0848	0,3528	0,9067
	50	2,0130	0,3532	0,9164
	60	1,9739	0,3538	0,9174
28	10	3,1221	0,4556	0,8907
	20	2,9518	0,4573	0,9032
	30	2,7495	0,4255	0,9308
	40	2,6252	0,4158	0,9361
	50	2,4879	0,4094	0,9492
	60	2,2487	0,4278	0,9664

4.2.2 – Modelo da Lei da Potência

Apresentam-se, na Tabela 4.7, os parâmetros de ajuste do modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) e os coeficientes de determinação (R^2). De maneira geral,

percebem-se aumentos dos valores do parâmetro K (índice de consistência) com o aumento de concentração e diminuição com o aumento da temperatura. FERREIRA et al. (2002b), ao trabalharem com polpa de cajá também verificaram que o aumento de temperatura provocou a diminuição dos valores deste parâmetro, entre 10 e 40°C.

Em geral, o aumento da temperatura produziu ligeiro aumento nos valores do índice de comportamento do fluido (n), embora ocorram algumas exceções. Com relação ao efeito do aumento da concentração sobre tal parâmetro, não há uma definição clara, porém se verifica que todos os valores de (n) são menores que 1, indicando que as polpas de figo-da-índia, apresentam comportamento de fluido pseudoplástico e são similares aos dados determinados por CEPEDA et al. (2002) para o suco concentrado de mirtilo, a 60,7 e 55,1°Brix e, segundo NAVARRO (1997), quanto mais distante o índice de comportamento do fluido estiver do valor unitário, mais distante também estará o fluido do comportamento newtoniano.

Os coeficientes de determinação (R^2) apresentaram valores entre 0,97 e 0,99 configurando ajustes satisfatórios. Os R^2 deste modelo são superiores aos determinados para o modelo de Casson, fato verificado também por PELEGRINE et al. (2002) para polpa de manga.

Tabela 4.7 - Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle e coeficientes de determinação (R^2) para as polpas de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28°Brix

Conc. (°Brix)	Temp. (°C)	Parâmetros		
		K (Pa s ⁿ)	n	R ²
13	10	1,2565	0,3446	0,9921
	20	1,1460	0,3566	0,9907
	30	1,0316	0,3583	0,9927
	40	0,9468	0,3743	0,9953
	50	0,8572	0,3853	0,9959
	60	0,7785	0,4061	0,9959
16	10	2,0764	0,3541	0,9967
	20	1,9824	0,3519	0,9956
	30	1,8760	0,3503	0,9944
	40	1,7226	0,3596	0,9918
	50	1,5673	0,3735	0,9898
	60	1,3276	0,4052	0,9846
19	10	3,9932	0,2744	0,9769
	20	3,7417	0,2863	0,9770
	30	3,4150	0,3066	0,9800
	40	2,8393	0,3320	0,9986
	50	2,4263	0,3399	0,9976
	60	2,2357	0,3432	0,9979
22	10	5,6447	0,3037	0,9882
	20	5,4840	0,3067	0,9882
	30	5,1626	0,3077	0,9907
	40	4,5194	0,3246	0,9966
	50	4,1663	0,3337	0,9987
	60	3,8514	0,3491	0,9970
25	10	6,4641	0,3552	0,9908
	20	7,3673	0,2815	0,9758
	30	6,3949	0,3008	0,9812
	40	5,8338	0,3117	0,9896
	50	5,4694	0,3205	0,9893
	60	5,2958	0,3244	0,9888
28	10	12,7796	0,2713	0,9912
	20	11,5937	0,2822	0,9922
	30	9,6067	0,3058	0,9951
	40	8,7807	0,3113	0,9949
	50	7,8770	0,3226	0,9951
	60	6,5614	0,3590	0,9893

4.2.3 – Modelo de Vocadlo

Encontram-se, na Tabela 4.8, os parâmetros de ajuste do modelo de Vocadlo e os coeficientes de determinação (R^2), embora o parâmetro τ_{0v} não demonstre, no conjunto de

dados, comportamento dependente da concentração ou da temperatura, mesmo que na concentração 13^oBrix, ocorra um decréscimo regular com o aumento de temperatura.

O parâmetro n_v oscila entre 0,28 e 0,48, identificando-se alguma tendência ascendente com os aumentos de temperatura, com esta tendência se apresentando mais ou menos pronunciada em diferentes concentrações. RAO & COOLEY (1983) trabalharam com concentrado de tomate de quatro variedades e verificaram valores de n_v entre 0,512 e 0,545, superiores, portanto, aos encontrados para figo-da-índia. Para o índice de consistência K_v esses autores notaram decréscimo dos valores com o aumento da temperatura, similar ao observado para o figo-da-índia, e de modo geral em todas as concentrações, porém com mais regularidade nas amostras a 13, 19 e 28^oBrix.

Os coeficientes de determinação (R^2) se situaram em valores entre 0,91 e 0,99, representando bons ajustes do modelo.

Tabela 4.8 - Parâmetros do modelo de Vocadlo e coeficientes de determinação (R^2) para as polpas de figo da índia, nas concentrações de 13 a 28°Brix

Conc. (°Brix)	Temp. (°C)	Parâmetros			R^2
		τ_{0v} (Pa)	n_v	K_v (Pa s ⁿ)	
13	10	0,9512	0,3911	1,1339	0,9989
	20	0,8877	0,4102	0,8422	0,9981
	30	0,7163	0,3967	0,7490	0,9968
	40	0,5921	0,4043	0,6601	0,9979
	50	0,4593	0,4058	0,5663	0,9972
	60	$2,0 \times 10^{-6}$	0,4051	0,5555	0,9956
16	10	1,1312	0,3714	6,0063	0,9979
	20	1,1143	0,3706	5,2418	0,9970
	30	1,1229	0,3730	4,2949	0,9963
	40	0,0002	0,4845	1,1218	0,9107
	50	1,0766	0,4131	2,0613	0,9941
	60	1,0975	0,4815	0,9720	0,9950
19	10	$2,0 \times 10^{-6}$	0,2860	113,3319	0,9753
	20	$1,0 \times 10^{-6}$	0,2993	71,7912	0,9747
	30	$2,0 \times 10^{-6}$	0,3247	37,7675	0,9771
	40	0,0007	0,3320	23,1788	0,9986
	50	1,2632	0,3533	10,6588	0,9984
	60	1,0244	0,3525	8,8910	0,9983
22	10	$1,0 \times 10^{-6}$	0,3137	221,0086	0,9872
	20	0,0022	0,3067	257,0162	0,9882
	30	$1,0 \times 10^{-6}$	0,3180	153,9623	0,9896
	40	$4,0 \times 10^{-6}$	0,3246	104,2746	0,9966
	50	1,0013	0,3339	71,6022	0,9987
	60	1,7277	0,3582	39,2822	0,9974
25	10	3,7541	0,3753	117,9769	0,9929
	20	0,0003	0,3116	426,8883	0,9656
	30	0,0002	0,3266	218,4309	0,9744
	40	0,0003	0,3117	286,4042	0,9896
	50	0,0002	0,3205	200,7868	0,9893
	60	$4,0 \times 10^{-6}$	0,3244	170,5223	0,9888
28	10	$1,0 \times 10^{-6}$	0,2871	5953,3130	0,9882
	20	0,0037	0,2822	5899,6070	0,9922
	30	0,0010	0,3058	1634,4430	0,9951
	40	0,0052	0,3113	1072,7840	0,9949
	50	3,8347	0,3317	454,7771	0,9956
	60	4,2632	0,3880	96,0319	0,9931

4.2.4 – Modelo de Herschel-Bulkley

Na Tabela 4.9 apresentam-se os parâmetros de ajuste do modelo de Herschel-Bulkley e os coeficientes de determinação (R^2). Ocorre diminuição nos valores referentes

ao parâmetro K_H (índice de consistência) e, não há confirmação da influência da temperatura para o n_H (índice de comportamento do fluido), pois ocorre muita oscilação dos dados, tal comportamento também foi constatado por SILVA (2001) ao estudar a reologia de méis. Os valores de (n_H) são inferiores a 0,57, significando que a polpa de figo-da-índia, apresentou nas diferentes concentrações, comportamento pseudoplástico. HOLDSWORTH (1971) disse que o índice de comportamento de fluxo está, na maioria das frutas, entre 0,30 e 0,50. Os valores obtidos para R^2 são superiores a 0,99, demonstrando ótimos ajustes do modelo, aos dados experimentais.

SILVA (1999), ao estudar o comportamento reológico do suco de acerola em diferentes concentrações e temperaturas, constatou que o modelo de Herschel-Bulkley proporcionou os melhores parâmetros de ajuste.

Comparando-se os valores dos coeficientes de determinação (R^2) dos quatro modelos de ajuste utilizados, constata-se que o modelo de Herschel-Bulkley é o que melhor descreve o comportamento reológico das polpas de figo-da-índia, nas diferentes concentrações e temperaturas, com valores acima de 0,99.

Os índices de comportamento do fluido (n), para os modelos avaliados, apresentaram valores inferiores a 1, confirmam a pseudoplasticidade das polpas.

Tabela 4.9 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley e coeficientes de determinação (R^2) para as polpas de figo-da-índia, nas concentrações de 13 a 28°Brix

Conc. (°Brix)	Temp. (°C)	Parâmetros			
		τ_{0H} (Pa)	K_H (Pa s ⁿ)	n_H	R^2
13	10	0,6371	0,6972	0,4612	0,9986
	20	0,6309	0,5990	0,4876	0,9985
	30	0,4893	0,6023	0,4667	0,9978
	40	0,3729	0,6203	0,4603	0,9986
	50	0,2659	0,6237	0,4505	0,9978
	60	0,1470	0,6491	0,4440	0,9965
16	10	0,5637	1,5703	0,4090	0,9981
	20	0,5781	1,4636	0,4114	0,9972
	30	0,6576	1,2878	0,4244	0,9969
	40	0,6363	1,1578	0,4389	0,9946
	50	0,7504	0,9164	0,4834	0,9950
	60	0,8796	0,6068	0,5719	0,9959
19	10	-21,7937	25,7686	0,0601	0,9984
	20	-16,0005	19,7231	0,0763	0,9981
	30	-7,1403	10,5252	0,1329	0,9952
	40	-0,5363	3,3409	0,3025	0,9990
	50	0,5369	1,9383	0,3829	0,9985
	60	0,3162	1,9473	0,3696	0,9983
22	10	-5,8199	11,2680	0,1945	0,9951
	20	-5,6648	10,9531	0,1967	0,9952
	30	-5,2164	10,1997	0,1989	0,9975
	40	-1,2928	5,7364	0,2823	0,9975
	50	-0,1951	4,3471	0,3259	0,9987
	60	0,3365	3,5453	0,3649	0,9971
25	10	1,2602	5,3376	0,3922	0,9915
	20	-18,5776	25,6309	0,1160	0,9926
	30	-9,6745	15,8016	0,1648	0,9925
	40	-4,6727	10,3146	0,2183	0,9948
	50	-3,1917	8,5021	0,2453	0,9927
	60	-2,8984	8,0432	0,2524	0,9918
28	10	-12,5829	25,2129	0,1691	0,9970
	20	-8,0497	19,5094	0,1990	0,9961
	30	-1,9382	11,4370	0,2757	0,9956
	40	-0,9658	9,6870	0,2941	0,9951
	50	0,7021	7,2290	0,3383	0,9952
	60	1,9953	4,8016	0,4203	0,9913

Nas Figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11, encontram-se representadas, graficamente, as curvas da tensão de cisalhamento versus taxa de deformação ajustadas pelo modelo de Herschel-Bulkley.

As Figuras A.1 a A.18, referentes aos ajustes pelos modelos de Casson, Ostwald-de-Waelle (Lei da potência) e Vocadlo, respectivamente, são apresentadas no Apêndice B.

Para as amostras a 13°Brix observam-se, na Figura 4.6, três agrupamentos das curvas, um deles formado pelas curvas de 10 e 20°C, apresentando maior distância em relação aos demais; outro com as curvas referentes a 30 e 40°C, e por último a 50 e 60°C, apresentando curvas tendendo à sobreposição; desta forma, observa-se que o aumento da temperatura diminui a viscosidade.

FERREIRA et al. (2002b) estudaram o comportamento reológico de polpa de cajá, com dados ajustados pelo modelo de Herschel-Bulkley, nas temperaturas de 10 a 60°C, e também verificaram curvas com comportamento semelhante ao das curvas de figo-da-índia, a 13°Brix. Para taxas de deformação até 70 s^{-1} , obtiveram maiores valores de tensão de cisalhamento que na Figura 4.6.

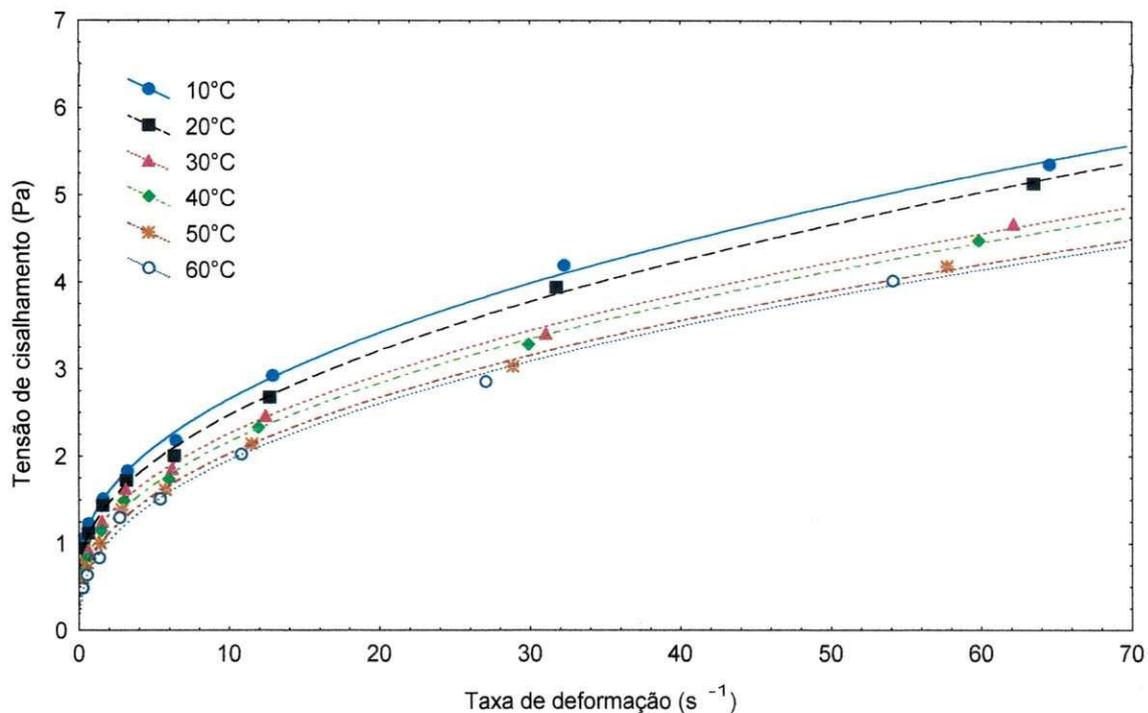


Figura 4.6 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 13°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

Para as amostras a 16°Brix visualizam-se, na Figura 4.7, curvas de escoamento bem distribuídas e com boa distinção, nas quais se percebe a diminuição gradativa e proporcional das viscosidades aparentes, com o aumento da temperatura.

SILVA (2001) estudou o comportamento reológico de méis de abelha africanizada, de diferentes floradas, na faixa de 20 a 40°C, e de acordo com as curvas de escoamento, a tensão de cisalhamento decrescia, a medida em que se elevava a temperatura; significando, decréscimo de viscosidade, similar a Figura 4.7.

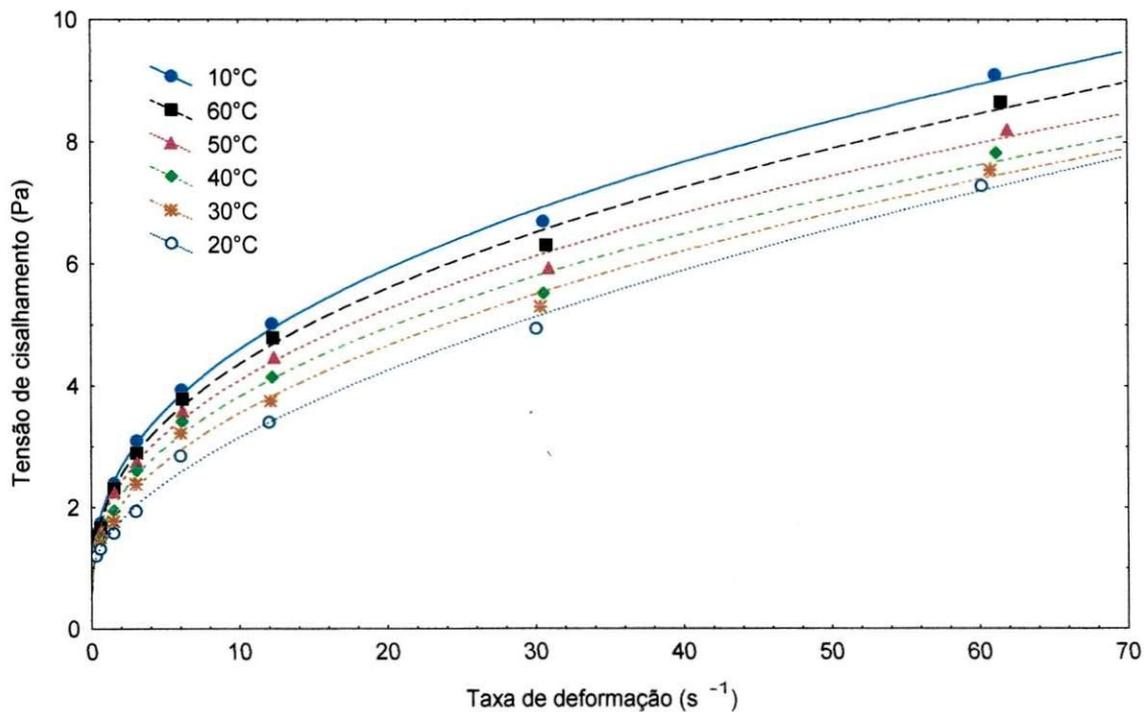


Figura 4.7 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 16°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

Na Figura 4.8, para as amostras a 19°Brix as curvas de 10, 20, 30 e 40°C se aproximam muito, reduzindo desta forma, a influência da temperatura, com o aumento da taxa de deformação. Vê-se que as curvas de 50 e 60°C se apresentam com inclinações

semelhantes entre si e, mantêm maior distância das demais, demonstrando influência mais perceptível do aumento da temperatura na diminuição da viscosidade.

FERREIRA et al. (2002c) trabalhou com polpa de umbu integral e verificaram que, as curvas de escoamento, referentes às primeiras temperaturas, não apresentaram boa distinção, exceto, a curva da temperatura de 50°C.

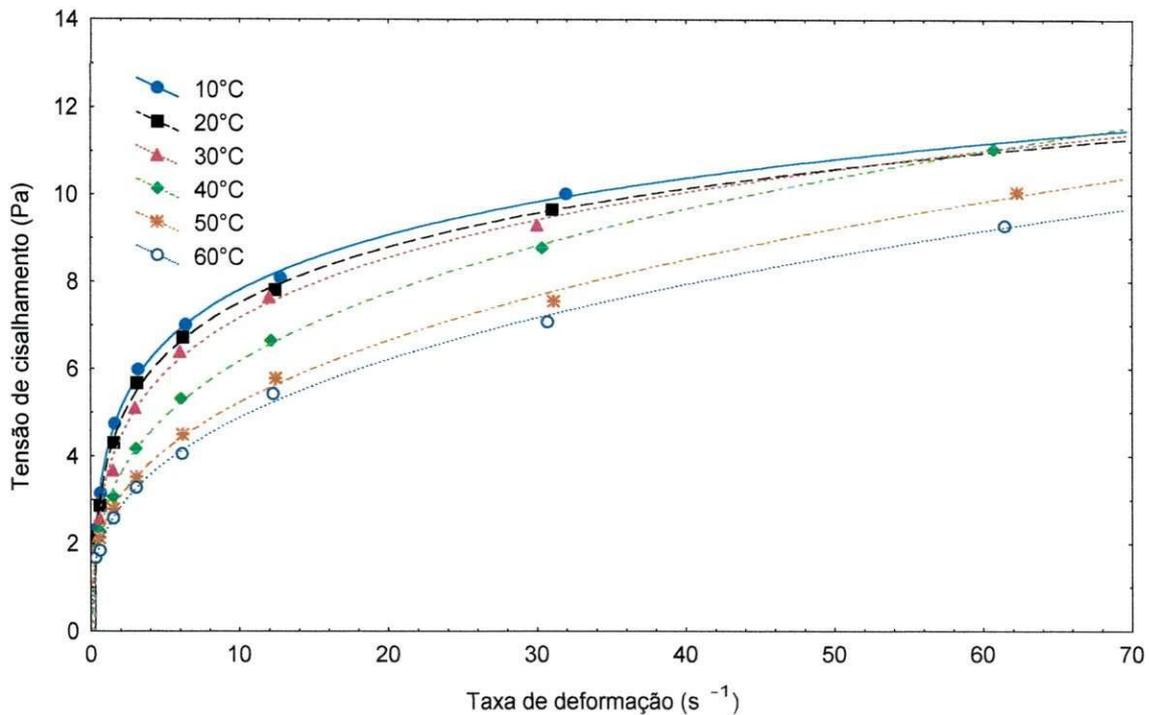


Figura 4.8 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 19°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

Na Figura 4.9 para as amostras a 22°Brix, observa-se que as curvas de viscosidade aparente refletem, como nas amostras a 16°Brix, uma influência gradativa da temperatura, apesar das curvas referentes a 50 e 60°C apresentarem alguma tendência à sobreposição para maiores taxas de deformação. QUEIROZ et al. (2004) ao estudarem a reologia do suco de cupuaçu (9°Brix) nas temperaturas de 10 a 30°C, também observaram comportamento similar ao encontrado nesta figura.

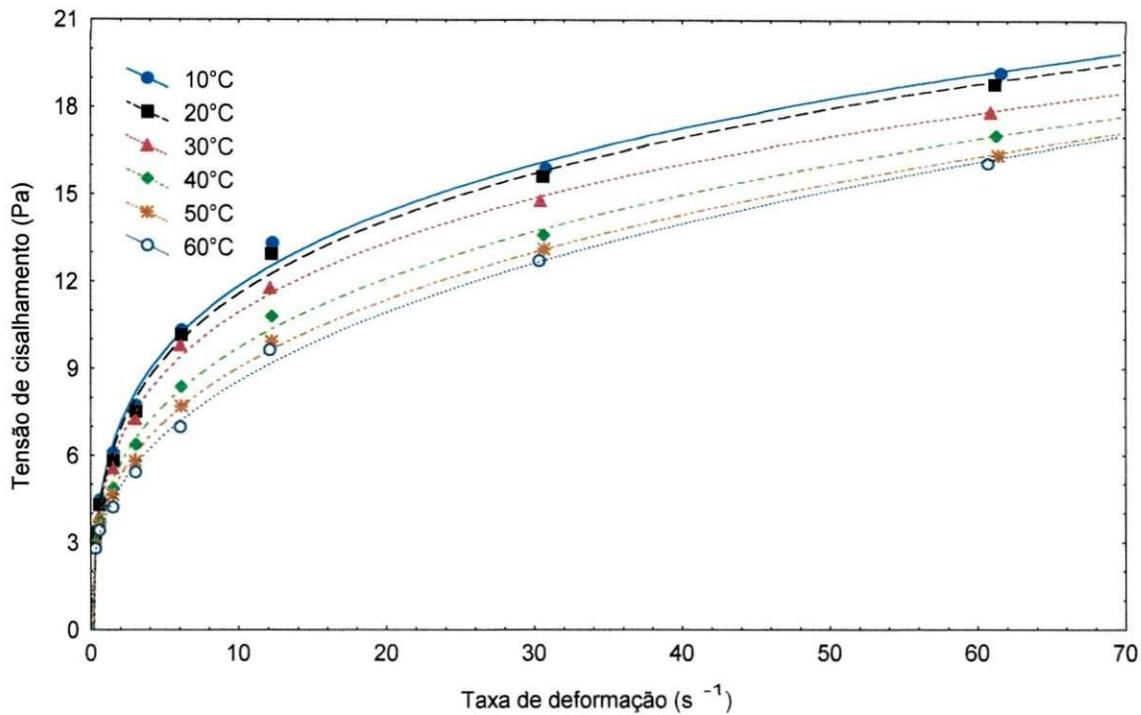


Figura 4.9 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 22°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

Para as amostras a 25°Brix, apresentadas na Figura 4.10, verifica-se que não há a influência esperada de redução de viscosidade com o aumento de temperatura nas curvas de 10 e 20°C, até taxas de deformação próximas a 15 s⁻¹, quando estas se cruzam; daí em diante, porém, ocorre uma influência maior do aumento da temperatura sobre a viscosidade e, nas demais curvas, percebe-se uma distribuição mais regular, com maior proximidade entre as curvas representantes das amostras a 50°C e 60°C, indicando menor influência do aumento da temperatura sobre reduções da viscosidade.

FERREIRA (2002) ao avaliar a relação entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de goiaba peneirada com valores ajustados pelo modelo reológico de M-B, observou a tendência de queda da viscosidade com o aumento da taxa de deformação e aumento de temperatura; embora trabalhando com maiores taxas de deformação, verificou comportamento de curvas bastante semelhante ao da Figura 4.10.

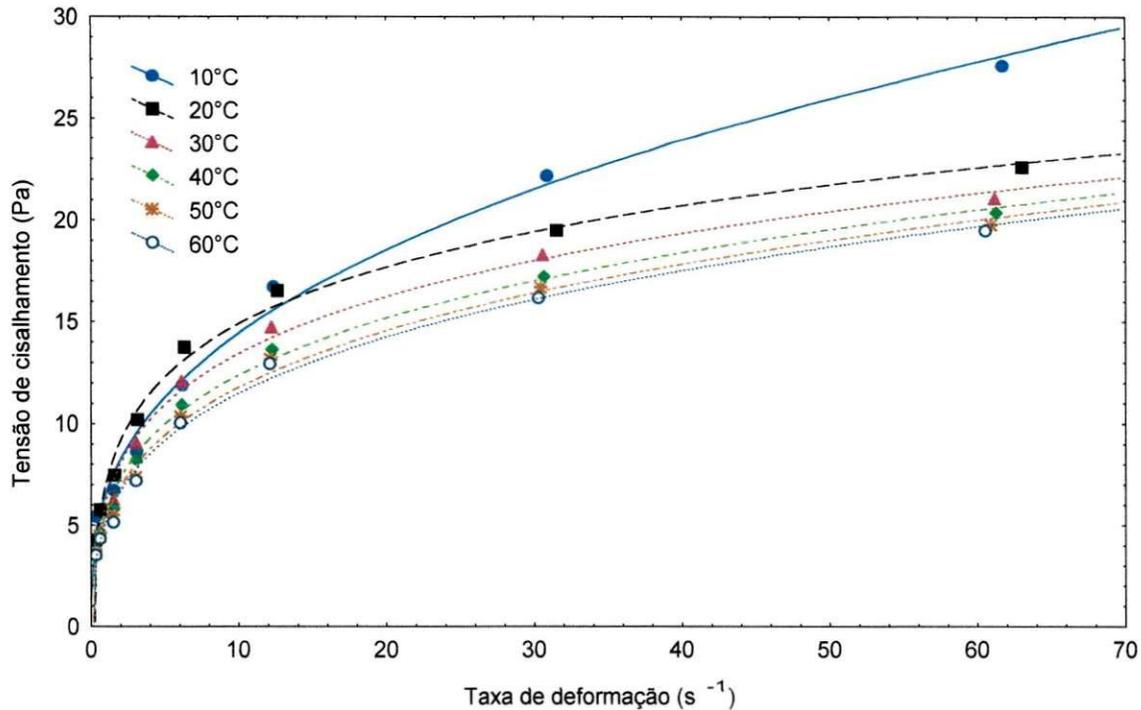


Figura 4.10 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 25°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

Analisando-se as amostras a 28°Brix verifica-se, na Figura 4.11, que as curvas das viscosidades aparentes se apresentam bem distribuídas. O conjunto se assemelha ao das amostras a 22°Brix, diferenciando-se pelo maior distanciamento das curvas e por se situarem em maiores valores de tensão de cisalhamento. Visualiza-se, portanto, a diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura. A diminuição dos valores de tensão de cisalhamento com o aumento de temperatura e taxa de deformação também foi observada por FERREIRA et al. (2002a) para polpa de açaí integral, e IBARZ et al (1987) para os sucos de maçã e pêra.

Curvas de escoamento com padrão de comportamento bastante similar ao da Figura 4.11, foi constatado por SILVA (1999) ao estudar o suco de acerola a 16°Brix, todavia, para taxa de deformação 70s⁻¹, foram obtidos maiores valores de tensão de cisalhamento.

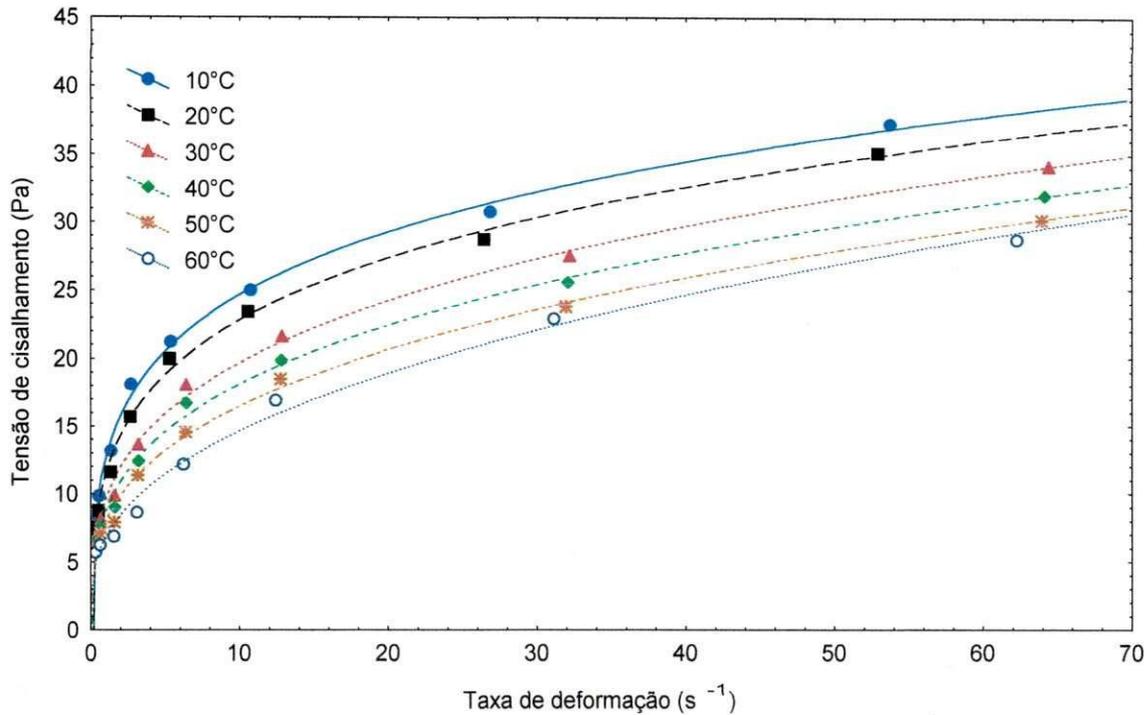


Figura 4.11 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia, na concentração de 28°Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley

4.2.5 – Viscosidade aparente

A viscosidade aparente η_a é definida como o quociente, entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, isto é, a tangente da curva de escoamento, no ponto considerado (SILVA, 1999).

De acordo com os valores apresentados nas Tabelas 4.10 a 4.15, nas quais são apresentadas as viscosidades aparentes das amostras nas temperaturas de 10 a 60°C, constata-se que as viscosidades aparentes aumentam com a concentração e decrescem com o aumento da velocidade.

Pela análise estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, indicada na Tabela 4.10, em que se tem as viscosidades aparentes, na temperatura de 10°C, são observadas diferenças significativas na redução de viscosidades aparentes para todas as

concentrações, entre as velocidades de rotação de 0,5 a 2,5 rpm; entre as demais velocidades tais reduções continuam a ocorrer; entretanto, de maneira menos acentuada, verificando-se diferenças estatisticamente significativas cada vez menos freqüentes. Em relação às concentrações, verificam-se diferenças estatisticamente significativas entre todas elas, até a velocidade de rotação 2,5 rpm. Nas demais concentrações embora, se percebam aumentos constantes, as diferenças estatisticamente significativas, se tornam menos freqüentes. TORRES et.al. (2003) estudaram a polpa de umbu-cajá em diferentes concentrações a 10°C e também observaram diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da velocidade de rotação e redução da concentração.

HOLDSWORTH (1971), disse que a maioria dos derivados de frutas apresenta comportamento de fluido pseudoplástico, nos quais a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação.

Tabela 4.10 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, a temperatura de 10°C, nas diferentes concentrações

Vel. (rpm)	Concentração (°Brix)					
	13	16	19	22	25	28
0,5	7,1333 aF	10,6000 aE	15,6000 aD	24,3333 aC	40,3333 aB	58,3333 aA
1,0	4,1333 bF	5,8667 bE	10,6000 bD	16,0000 bC	21,5000 bB	36,5000 bA
2,5	2,0267 cF	3,2267 cE	6,3867 cD	8,7333 cC	10,0000 cB	19,5333 cA
5,0	1,2333 cdD	2,0800 dD	4,0200 dC	5,5333 dB	6,4000 dB	13,4333 dA
10	0,7333 dD	1,3233 deCD	2,3567 eC	3,7000 eB	4,4167 eB	7,8833 eA
20	0,4917 dD	0,8433 eD	1,3583 efCD	2,3875 fBC	3,1000 fB	4,6333 fA
50	0,2820 dC	0,4500 eC	0,6727 fBC	1,1383 gBC	1,6467 gAB	2,2800 gA
100	0,1800 dB	0,3060 eB	0,4700 fAB	0,6892 gAB	1,0267 gAB	1,3817 gA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 1,1040; DMS linhas = 1,0376; MG = 7,8602 Pa s; CV% = 7,9548

Pela análise estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, mostrada na Tabela 4.11, verifica-se que as viscosidades aparentes na temperatura de

20°C, apresentam grandes semelhanças com as viscosidades da Tabela 4.10, em que são observadas diferenças significativas das viscosidades aparentes de todas as concentrações entre as velocidades de rotação de 0,5 a 2,5 rpm; nas demais velocidades as diferenças continuam a ocorrer, porém, de forma menos acentuada, observando-se diferenças estatisticamente significativas cada vez menos freqüentes. Em relação às concentrações, verificam-se diferenças estatisticamente significativas entre todas elas até a velocidade de rotação de 2,5 rpm; para as demais concentrações as diferenças estatisticamente significativas, tornam-se menos freqüentes.

IBARZ et al. (1987) constataram que as viscosidades de sucos de maçã e pêra a 25°C, aumentam bruscamente após 55°Brix; observaram ainda que em concentrações inferiores, foram muito baixas e praticamente constantes, diferindo portanto, do observado na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, a temperatura de 20°C, nas diferentes concentrações

Vel. (rpm)	Concentração (°Brix)					
	13	16	19	22	25	28
0,5	6,3333 aF	10,2667 aE	14,4000 aD	23,6667 aC	30,6667 aB	55,6667 aA
1,0	3,7667 bF	5,6000 bE	9,6333 bD	15,4167 bC	20,6667 bB	32,5000 bA
2,5	1,9333 cF	3,1200 cE	5,7867 cD	8,3333 cC	10,7333 cB	17,2667 cA
5,0	1,1600 cdE	1,9467 dE	3,8133 dD	5,3833 dC	7,3167 dB	11,6667 dA
10	0,6733 deE	1,2733 deE	2,2600 eD	3,6417 eC	4,9333 eB	7,4167 eA
20	0,4500 deD	0,8050 e fCD	1,3117 fC	2,3208 fB	2,9625 fB	4,3417 fA
50	0,2647 eD	0,4240 fCD	0,6487 fgBCD	1,1200 gBC	1,3983 gAB	2,1333 gA
100	0,1727 eB	0,2910 fB	0,4550 gB	0,6750 gAB	0,8117 gAB	1,3033 gA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 0,8424; DMS linhas = 0,7917; MG = 7,2736 Pa s; CV% = 6,5591

Pela análise estatística ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, mostrada na Tabela 4.12, na qual se tem as viscosidades aparentes a 30°C, são observam-se diferenças significativas na redução de viscosidades aparentes para todas as

concentrações entre as velocidades de rotação de 0,5 a 2,5 rpm; entre as demais velocidades, tais reduções continuam; entretanto, de maneira menos acentuada, ocorrendo diferenças estatisticamente significativas cada vez menos freqüentes. Em relação às concentrações, verificam-se aumentos de viscosidade aparente estatisticamente significativos entre todas elas, até a velocidade de rotação 1,0 rpm; nas demais concentrações, embora se percebam aumentos constantes, as diferenças estatisticamente significativas também se tornam pouco freqüentes.

BAYINDIRLI (1993) estudou o suco de uva concentrado a várias temperaturas e em concentrações de 16,2 a 35°Brix, também notou diminuição de viscosidade pela redução da concentração e aumento da temperatura, sendo que na de 30°C verificou considerável diferença entre as viscosidades, similar ao observado na Tabela 4.12, principalmente nas menores velocidades de rotação.

Tabela 4.12 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, a 30°C, nas diferentes concentrações

Vel. (rpm)	Concentração (°Brix)					
	13	16	19	22	25	28
0,5	5,4667 aF	9,6667 aE	13,6000 aD	22,3333 aC	28,1667 aB	52,0000 aA
1,0	3,1333 bF	5,4333 bE	8,6333 bD	13,9167 bC	17,0833 bB	30,3333 bA
2,5	1,6800 cE	3,0267 cD	4,9333 cC	7,9667 cB	8,9667 cB	14,6667 cA
5,0	1,0933 cdE	1,8467 dE	3,4267 dD	5,2000 dC	6,5000 dB	10,1000 dA
10	0,6233 cdD	1,2033 deCD	2,1467 eC	3,5083 eB	4,3250 eB	6,7000 eA
20	0,4133 dD	0,7500 eD	1,2833 efCD	2,1083 fBC	2,6377 fB	4,0083 fA
50	0,2287 dC	0,3980 eBC	0,6240 fBC	1,0583 fgABC	1,3117 gAB	2,0400 gA
100	0,1570 dB	0,2757 eAB	0,4408 fAB	0,6400 gAB	0,7558 gAB	1,2667 gA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 1,0702; DMS linhas = 1,0059; MG = 6,6266 Pa s; CV% = 9,15

Conforme a análise estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey apresentada na Tabela 4.13, em que se tem as viscosidades aparentes, a 40°C, observam-se

diferenças significativas de viscosidades aparentes para todas as concentrações entre as velocidades de rotação de 0,5 a 2,5 rpm; entre as demais velocidades, as diferenças continuam, porém de forma menos acentuada, com diferenças significativas cada vez menos freqüentes. Em relação às concentrações, verifica-se que os aumentos das concentrações produzem diferenças estatísticas entre todas elas, até a velocidade de rotação 1,0 rpm, enquanto nas demais concentrações, embora se percebam aumentos constantes, as diferenças estatisticamente significativas se tornam cada vez menos freqüentes.

De acordo com SARAVACOS (1970) os fluidos pseudoplásticos, a exemplo dos derivados de frutas, apresentam aumentos na viscosidade aparente, com a diminuição da velocidade de rotação.

Tabela 4.13 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, a 40°C, nas diferentes concentrações

Vel. (rpm)	Concentração (°Brix)					
	13	16	19	22	25	28
0,5	4,7333 aF	9,0667 aE	12,8667 aD	21,6667 aC	26,8333 aB	48,3333 aA
1,0	2,8000 bF	4,9667 bE	7,6333 bD	13,2500 bC	16,5000 bB	28,0000 bA
2,5	1,5467 cE	2,6133 cE	4,1333 cD	6,9667 cC	8,3667 cB	13,3333 cA
5,0	1,0000 cdE	1,7467 cdDE	2,8000 dD	4,5667 dC	5,8833 dB	9,2000 dA
10	0,5833 cdD	1,1467 deCD	1,7867 deC	3,0000 eB	3,9167 eB	6,2000 eA
20	0,3917 cdD	0,6967 deD	1,1183 efCD	1,9333 efBC	2,4458 fB	3,6833 fA
50	0,2207 dB	0,3707 eB	0,5893 fB	0,9733 fgAB	1,2350 gAB	1,8967 gA
100	0,1507 dA	0,2630 eA	0,3713 fA	0,6108 gA	0,7308 gA	1,1867 gA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 1,1796; DMS linhas = 1,1087; MG = 6,1314 Pa s; CV% = 10,89

Através da análise estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, apresentada na Tabela 4.14, na qual se tem as viscosidades aparentes a 50°C, da mesma forma que nas Tabelas anteriores, constatam-se diferenças significativas de viscosidades aparentes para todas as concentrações, entre as velocidades de rotação de 0,5 a 2,5 rpm; entre as demais velocidades, as diferenças continuam, mas de maneira menos acentuada,

com diferenças significativas cada vez menos freqüentes. Com relação às diferentes concentrações, há diferenças estatísticas das viscosidades entre todas elas, para as velocidades de 0,5 a 1,0 rpm; nas concentrações seguintes também ocorrem diferenças, mas as diferenças estatisticamente significativas se dão com menos freqüência.

SILVA (1999) caracterizou o suco de acerola e percebeu o aumento da viscosidade com o acréscimo da concentração (°Brix), concordante assim, com o visto na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, a 50°C, nas diferentes concentrações

Vel. (rpm)	Concentração (°Brix)					
	13	16	19	22	25	28
0,5	4,0667 aF	8,5333 aE	12,1333 aD	20,6667 aC	25,8333 aB	45,3333 aA
1,0	2,4000 bF	4,7667 bE	7,1333 bD	12,8333 bC	16,0000 bB	26,3333 bA
2,5	1,3467 cF	2,3733 cE	3,7467 cD	6,6667 cC	7,8667 cB	11,7333 cA
5,0	0,9333 cdE	1,6000 cdDE	2,3667 dD	4,1500 dC	5,2667 dB	8,4333 dA
10	0,5433 cdE	1,0833 deDE	1,5100 deD	2,7583 eC	3,7083 eB	5,4000 eA
20	0,3600 dD	0,6300 eD	0,9717 efCD	1,7792 fBC	2,3583 fB	3,4333 fA
50	0,2033 dC	0,3560 eBC	0,5073 fBC	0,9383 fgABC	1,1950 gAB	1,7633 gA
100	0,1407 dB	0,2533 eAB	0,3380 fAB	0,5867 gAB	0,7092 gAB	1,1200 gA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 0,9288; DMS linhas = 0,8730; MG = 5,7326 Pa s; CV% = 9,17

Analisando-se estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, as viscosidades aparentes a 50°C, apresentadas na Tabela 4.15, como acontece nas tabelas anteriores, também são observadas diferenças significativas de viscosidades aparentes para todas as concentrações entre as velocidades de rotação de 0,5 a 2,5 rpm; entre as demais velocidades as diferenças continuam, porém de maneira menos acentuada, com diferenças significativas cada vez menos freqüentes. Em relação às diferentes concentrações, observam-se diferenças estatísticas das viscosidades entre todas as

concentrações, para as velocidades de 0,5 a 2,5 rpm. Para as concentrações seguintes, as diferenças estatisticamente significativas são menos frequentes.

IBARZ et al. (1992) quando estudaram o suco clarificado de pêssego a 60°C, nas concentrações de 40 a 69°Brix, também notaram que a viscosidade diminui com o acréscimo da temperatura mas, aumenta com a elevação da concentração; todavia, obtiveram valores inferiores, aos de figo-da-índia, apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, a 60°C, nas diferentes concentrações

Vel. (rpm)	Concentração (°Brix)					
	13	16	19	22	25	28
0,5	3,2667 aF	8,0667 aE	11,2000 aD	20,0000 aC	25,1667 aB	42,3333 aA
1,0	2,1333 bF	4,4000 bE	6,1667 bD	12,2500 bC	15,5000 bB	23,1667 bA
2,5	1,1200 cF	2,1200 cE	3,4667 cD	6,0333 cC	7,4000 cB	10,2000 cA
5,0	0,8733 cdE	1,3000 cdE	2,2067 dD	3,8833 dC	5,1667 dB	6,4000 dA
10	0,5067 cdE	0,9567 deDE	1,3633 deD	2,5000 eC	3,6000 eB	4,5167 eA
20	0,3400 cdC	0,5717 deC	0,9133 efC	1,7292 efB	2,3208 fB	3,1417 fA
50	0,1920 dC	0,3320 eC	0,4753 fBC	0,9100 fgABC	1,1583 gAB	1,7000 gA
100	0,1350 dB	0,2447 eB	0,3120 fAB	0,5767 gAB	0,6992 gAB	1,0667 gA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 0,8478; DMS linhas = 0,7968; MG = 5,2934 Pa s; CV% = 9,07

Do conjunto de valores apresentados nas Tabelas 4.16 a 4.21, nas quais são apresentadas as viscosidades aparentes das amostras nas temperaturas de 10 a 60°C, pode-se dizer que as viscosidades aparentes diminuem com o aumento das temperaturas.

Pela análise estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, mostrada na Tabela 4.16, em que se tem as viscosidades aparentes, na concentração de 13°Brix, observam-se reduções de viscosidade aparente em todas as temperaturas a medida em que se aumentou a velocidade. Embora essas reduções tenham sido consistentes e constatadas entre todas as amostras, inclusive as subseqüentes, que apresentaram maior

magnitude nas velocidades de rotação mais baixas, de tal forma que na análise estatística apenas nos ensaios sob velocidades até 2,5 rpm foram detectadas diferenças significativas. Igualmente em relação às velocidades de rotação, tem-se reduções em todos os casos com os aumentos de temperatura, porém de maneira mais pronunciada em velocidades mais baixas, o que se confirma pelas diferenças estatisticamente significativas.

FREITAS et al. (1998) ao avaliarem a reologia do óleo de palma cru, também observaram que a viscosidade diminui com o aumento da temperatura, porém este comportamento depende fortemente da taxa de deformação aplicada, tem-se observado que a 80°C a viscosidade era praticamente constante.

Tabela 4.16 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 13°Brix, nas diferentes temperaturas

Vel. (rpm)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	7,1333 aA	6,3333 aB	5,4667 aC	4,7333 aD	4,0667 aE	3,2667 aF
1,0	4,1333 bA	3,7667 bB	3,1333 bC	2,8000 bD	2,4000 bE	2,1333 bF
2,5	2,0267 cA	1,9333 cAB	1,6800 cBC	1,5467 cCD	1,3467 cDE	1,1200 cE
5,0	1,2333 dA	1,1600 dAB	1,0933 dABC	1,0000 dABC	0,9333 dBC	0,8733 cC
10	0,7333 eA	0,6733 eA	0,6233 eA	0,5833 eA	0,5433 eA	0,5067 dA
20	0,4917 efA	0,4500 efA	0,4133 efA	0,3917 efA	0,3600 efA	0,3400 deA
50	0,2820 fgA	0,2647 fA	0,2287 fA	0,2207 fA	0,2033 fA	0,1920 eA
100	0,1800 gA	0,1727 fA	0,1570 fA	0,1507 fA	0,1407 fA	0,1350 eA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 0,2783; DMS linhas = 0,2616; MG = 1,5365 Pa s; CV% = 10,26

Através da análise estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, mostrada na Tabela 4.17, na qual se tem as viscosidades aparentes na concentração 16°Brix, observam-se reduções de viscosidade aparente em todas as temperaturas, a medida em que se aumenta a velocidade. Embora essas reduções tenham sido consistentes e constatadas entre todas as amostras, inclusive as subseqüentes, apresentaram, maior

magnitude nas velocidades de rotação mais baixas, de tal forma que na análise estatística apenas nos ensaios sob velocidades até 5,0 rpm, foram detectadas diferenças significativas. Em relação às velocidades de rotação, tem-se reduções das viscosidades em todos os casos, com os aumentos de temperatura, porém de maneira mais notória em velocidades mais baixas, o que se confirma pelas diferenças estatisticamente significativas. Este comportamento está de acordo com NAVARRO (1997) que relatou, que os fluidos pseudoplásticos tornam-se menos viscosos na medida em que a temperatura é elevada, e como este fenômeno ocorre independentemente do tempo ou tão rápido que o efeito do tempo não pode ser verificado, sua observação experimental é prejudicada, se a tensão de cisalhamento aplicada for muito elevada.

IBARZ et al. (1987) estudaram o efeito da temperatura na viscosidade de sucos de maçã e pêra concentrados a 71°Brix 70°Brix, respectivamente, e observaram que as viscosidades de ambos diminuem com o aumento da temperatura, porém em temperaturas superiores a 20°C permaneceram praticamente constantes.

Tabela 4.17 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 16°Brix, nas diferentes temperaturas

Vel. (rpm)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	10,6000 aA	10,2667 aA	9,6667 aB	9,0667 aC	8,5333 aD	8,0667 aE
1,0	5,8667 bA	5,6000 bAB	5,4333 bB	4,9667 bC	4,7667 bC	4,4000 bD
2,5	3,2267 cA	3,1200 cA	3,0267 cA	2,6133 cB	2,3733 cBC	2,1200 cC
5,0	2,0800 dA	1,9467 dA	1,8467 dAB	1,7533 dAB	1,6000 dBC	1,3000 dC
10	1,3233 eA	1,2733 eAB	1,2033 eAB	1,1467 eAB	1,0833 eAB	0,9567 dB
20	0,8433 fA	0,8050 fA	0,7500 fA	0,6967 fA	0,6300 fA	0,5717 eA
50	0,4500 gA	0,4240 gA	0,3980 fgA	0,3707 fgA	0,3560 fgA	0,3320 eA
100	0,3060 gA	0,2910 gA	0,2757 gA	0,2630 gA	0,2533 gA	0,2447 eA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 0,3635; DMS linhas = 0,3416; MG = 2,6977 Pa s; CV% = 7,63

Pela análise estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, mostrada na Tabela 4.18, na qual se tem as viscosidades aparentes na concentração de 19°Brix, observam-se reduções de viscosidade aparente em todas as temperaturas, a medida em que se aumenta a velocidade. Todavia as reduções continuam entre 50 e 100 rpm, mas sem diferirem estatisticamente; da mesma forma com relação às velocidades de rotação, ocorrem reduções das viscosidades em todos os casos com os aumentos de temperatura, mas de maneira mais pronunciada em velocidades mais baixas, o que se confirma pelas diferenças estatisticamente significativas. GUNJAL & WAGHMARE (1987) também verificaram significativa diminuição da viscosidade aparente, com o aumento de velocidade de rotação (rpm) e de temperatura, ao estudaram o comportamento reológico de derivados de manga.

Tabela 4.18 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, na concentração de 19°Brix, nas diferentes temperaturas

Vel. (rpm)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	15,6000 aA	14,4000 aB	13,6000 aC	12,8667 aD	12,1333 aE	11,2000 aF
1,0	10,6000 bA	9,6333 bB	8,6333 bC	7,6333 bD	7,1333 bE	6,1667 bF
2,5	6,3867 cA	5,7867 cB	4,9333 cC	4,1333 cD	3,7467 cE	3,4667 cE
5,0	4,0200 dA	3,8133 dA	3,4267 dB	2,8000 dC	2,3667 dD	2,2067 dD
10	2,3567 eA	2,2600 eA	2,1467 eAB	1,7867 eBC	1,5100 eCD	1,3633 eD
20	1,3583 fA	1,3117 fAB	1,2833 fABC	1,1183 fABC	0,9717 fBC	0,9133 fC
50	0,6727 gA	0,6487 gA	0,6240 gA	0,5893 gA	0,5073 gA	0,4753 gA
100	0,4700 gA	0,4550 gA	0,4408 gA	0,3713 gA	0,3380 gA	0,3120 gA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 0,3996; DMS linhas = 0,3755; MG = 4,1869 Pa s; CV% = 5,40

Na análise estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, mostrada na Tabela 4.19, em que se tem as viscosidades aparentes na concentração de 22°Brix, verificam-se reduções de viscosidade aparente em todas as temperaturas, sempre que se aumenta a velocidade de rotação; todavia, diferem estatisticamente entre 0,5 a 50

rpm. Igualmente em relação às velocidades de rotação, ocorrem reduções das viscosidades em todos os casos com os aumentos de temperatura; entretanto, as diferenças estatisticamente significativas são pouco freqüentes.

BRANCO & GASPARETTO (2003) estudando o comportamento reológico de misturas ternárias de manga, laranja e cenoura, verificaram que na taxa de deformação de 50 s^{-1} , entre as temperaturas de 10 e 60°C ocorreu diferença de 32,43% na viscosidade aparente, confirmando, desta forma, a influência da temperatura sobre a viscosidade.

Tabela 4.19 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, na concentração de 22°Brix , nas diferentes temperaturas

Vel. (rpm)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	24,3333 aA	23,6667 aA	22,3333 aB	21,6667 aB	20,6667 aC	20,0000 aC
1,0	16,0000 bA	15,4167 bA	13,9167 bB	13,2500 bBC	12,8333 bCD	12,2500 bD
2,5	8,7333 cA	8,3333 cAB	7,9667 cB	6,9667 cC	6,6667 cCD	6,0333 cD
5,0	5,5333 dA	5,3833 dA	5,2000 dAB	4,5667 dBC	4,1500 dCD	3,8833 dD
10	3,7000 eA	3,6417 eAB	3,5083 eAB	3,0000 eBC	2,7583 eC	2,5000 eC
20	2,3875 fA	2,3208 fA	2,1083 fA	1,9333 fA	1,7792 fA	1,7292 fA
50	1,1383 gA	1,1200 gA	1,0583 gA	0,9733 gA	0,9383 gA	0,9100 gA
100	0,6892 gA	0,6750 gA	0,6400 gA	0,6108 gA	0,5867 gA	0,5767 gA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 0,7247; DMS linhas = 0,6812; MG = 6,8965 Pa s; CV% = 5,95

Para 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, a análise estatística exposta na Tabela 4.20, em que se tem as viscosidades aparentes, na concentração 25°Brix , são verificadas reduções de viscosidade aparente em todas as temperaturas, sempre que se aumenta a velocidade de rotação; no entanto, diferem estatisticamente entre 0,5 a 50 rpm e, da mesma forma em relação às velocidades de rotação, ocorrem reduções das viscosidades em todos os casos com os aumentos de temperatura; ressalta-se, que as diferenças estatisticamente significativas são pouco freqüentes. Nesta concentração as viscosidades aparentes se apresentam, bastante similares às da concentração 22°Brix .

Resultados e discussão

HERNANDEZ et al. (1995) estudaram a viscosidade aparente de suco de laranja ultrafiltrado e evaporado com altas concentrações e constataram significativa diminuição da viscosidade aparente com a diminuição da concentração e o aumento da temperatura, porém para as menores concentrações a influência da temperatura foi pouco significativa para taxa de deformação (100 s^{-1}), comportamento idêntico ao figo-da-índia, apresentado na Tabela 4.21.

Tabela 4.20 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, na concentração de 25°Brix, nas diferentes temperaturas

Vel. (rpm)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	40,3333 aA	30,6667 aB	28,1667 aC	26,8333 aD	25,8333 aE	25,1667 aE
1,0	21,5000 bA	20,6667 bA	17,0833 bB	16,5000 bBC	16,0000 bCD	15,5000 bD
2,5	10,0000 cA	10,9000 cA	8,9667 cB	8,3667 cBC	7,8667 cC	7,4000 cC
5,0	6,4000 dAB	7,3167 dA	6,5000 dAB	5,8833 dBC	5,2667 dC	5,1667 dC
10	4,4167 eAB	4,9333 eA	4,3250 eAB	3,9167 eB	3,7083 eB	3,6000 eB
20	3,1000 fA	2,9625 fA	2,6375 fA	2,4458 fA	2,3583 fA	2,3208 fA
50	1,6467 gA	1,3983 gA	1,3117 gA	1,2350 gA	1,1950 gA	1,1583 gA
100	1,0267 gA	0,8117 gA	0,7558 gA	0,7308 gA	0,7092 gA	0,6992 gA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 1,0306; DMS linhas = 0,9687; MG = 8,9101 Pa s; CV% = 6,55

aparente de creme de leite, através de um reômetro rheotest 2.1, em diversas rotações (rpm) desempenhadas pelo instrumento, e nas temperaturas de 30 a 70°C.

Tabela 4.21 – Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de figo-da-índia, na concentração de 28°Brix, nas diferentes temperaturas

Vel. (rpm)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	58,3333 aA	55,6667 aB	52,0000 aC	48,3333 aD	45,3333 aE	42,3333 aF
1,0	36,5000 bA	32,5000 bB	30,3333 bC	28,0000 bD	26,3333 bD	23,1667 bE
2,5	19,5333 cA	17,2667 cB	14,6667 cC	13,3333 cCD	11,7333 cDE	10,2000 cE
5,0	13,4333 dA	11,6667 dAB	10,1000 dBC	9,2000 dC	8,4333 dC	6,4000 dD
10	7,8833 eA	7,4167 eA	6,7000 eAB	6,2000 eABC	5,4000 eBC	4,5167 deC
20	4,6333 fA	4,3417 fA	4,0083 fA	3,6833 fA	3,4333 efA	3,1417 efA
50	2,2800 gA	2,1333 gA	2,0400 fgA	1,8967 fgA	1,7633 fgA	1,7000 fgA
100	1,3817 gA	1,3033 gA	1,2667 gA	1,1867 gA	1,1200 gA	1,0667 gA

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

DMS colunas = 2,0238; DMS linhas = 1,9022; MG = 14,6937 Pa s; CV% = 7,80

5 - CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no estudo das polpas nas diferentes concentrações, conclui-se:

- Os valores obtidos para o pH e a umidade encontram-se na mesma faixa dos reportados em literatura; já os de pectina, sólidos totais e sólidos insolúveis, encontram-se, geralmente, abaixo.
- Os valores médios de pectina, sólidos insolúveis e sólidos totais aumentaram, enquanto o pH e a umidade decresceram com o aumento da concentração das polpas.
- As viscosidades aparentes foram influenciadas pela concentração, temperatura e taxa de deformação, aumentando com a concentração e decrescendo com os aumentos da temperatura e da velocidade de rotação.
- Os modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle, Vocadlo e Herschel-Bulkley, mostraram valores de índice de comportamento de fluido menores que a unidade, em todas as polpas estudadas, denotando comportamento de fluido não-newtoniano e pseudoplástico para as amostras.
- Os modelos reológicos de Casson, Ostwald-de-Waelle, Vocadlo e Herschel-Bulkley, resultaram em ajustes satisfatórios, porém os dados experimentais com o modelo de Herschel-Bulkley culminaram nos melhores ajustes.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, J.; SHIVHARE, U. S.; RAGHAVAN, G. S. V. Rheological characteristics and kinetics of colour degradation of green chilli puree. **Journal of Food Engineering**, New York, v. 44, n. 4, p. 239-244, 2000.

BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE, 2001. 216 p.

BARBERA, G. História e importância econômica e agroecológica. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE, 2001. cap. 1, p. 1-11.

BARRIOS, E. P.; MUÑOZ-URÍAS, A. Domesticação das opuntias e variedades cultivadas. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE, 2001. cap. 7, p. 58-64.

BAYINDIRLI, L. Density and viscosity of grape as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Processing and Preservation**, Connecticut, v. 17, n. 2, p. 147-151, 1993.

BEZERRA, J. R. M. V. **Comportamento reológico da polpa de manga**. 2000. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

BEZERRA, J. R. M. V. **Estudo reológico de suco de manga - Efeito dos sólidos insolúveis**. 1997. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, (supl.), p. 166-171, 2003.

BRASIL. Instrução normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000. Estabelece o regimento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília DF, 10 jan. 2000. Seção 1, n.6, p.53-58.

CABRAL, M. F. P. **Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.)**. 2001. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

CANTWELL, M. Manejo pós-colheita de frutas e verdura de palma forrageira. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE, 2001. cap. 14, p. 123-139.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas: Metha, 1999, 212 p.

CEPEDA, E.; HERMOSA, M.; LLORENS, F.; VILLARÁN, M. C. Rheological behaviour of blueberry cloudy juice (*Vaccinium corymbosum* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 37, n. 3, p. 271-276, 2002.

CHAVES, J. B. P. **Análise sensorial: histórico e desenvolvimento**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1993, 31 p.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320 p.

CONCEIÇÃO, R. S. **Comportamento reológico da polpa de goiaba (*Pisidium guajava* L.)**. 2000. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

CORBO, M. R.; ALTIERI, C.; D'AMATO, D.; CAMPANIELLO, D.; NOBILE, M. A. Del.; SINIGAGLIA, M. Effect of temperature on shelf life and microbial population of

lightly processed cactus pear fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.31, n. 1, p. 93–104, 2004.

COSTELL, E.; DURÁN, L. Reología físico-química de los zumos y purés de fruta. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 22, n. 1, p. 80-94, 1982.

DIK, T.; ÖZILGEN, M. Rheological Behaviour of Bentonit-Apple Juice Dispersions. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, New York, v. 27, p.55–58, 1994.

EL BULK, R. E.; BABIKER, E. F. E.; EL TINAY, A.H. Changes in chemical composition of guava fruits during development and ripening. **Food Chemistry**, England, v. 59, n. 3, p. 395-399, 1997.

FERREIRA, G. M. **Reologia das polpas de caju (*Anacardium occidentale*, L.) e goiaba (*Psidium guajava*, L.)**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J.de M.; CONCEIÇÃO, R. S. da; GASPARETTO, C. A. **Comportamento reológico da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*.)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA, 2002a. CD.

FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J.de M.; CONCEIÇÃO, R. S. da; GASPARETTO, C. A. **Comportamento reológico da polpa de cajá**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA, 2002b. CD.

FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J.de M.; CONCEIÇÃO, R. S. da; GASPARETTO, C. A. **Comportamento reológico da polpa de umbu (*Spondias tuberosa*)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBCTA, 2002c. CD.

FITO, P. J.; CLEMENTE, G.; SANZ, F. J. Rheological behaviour of tomato concentrate (Hot Break and Cold Break). **Journal of Food Engineering**, New York, v. 2, n. 1, p. 51-62, 1983.

FREITAS, S. P.; SILVA, F. C.; LAGO, R. C. A.; COURI, S. Efeito de enzimas hidrolíticas no comportamento reológico do óleo de palma cru. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 127-130, 1998.

GOMES, J. E.; PERECIN, D.; MARTINS, A. B. G.; FONTES, S. R. Comportamento de propriedades físicas, químicas e reológicas do suco de acerola armazenado a baixa temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 296-300, 2001

GONÇALVES, J. R. Introdução à reologia de alimentos fluidos. (ed) 1. **Reologia e textura em alimentos**. Campinas: ITAL, 1989. cap. 2, p.6-11.

GUNJAL, B. B.; WAGHMARE, N. J. Flow characteristics of pulp, juice and nectar of 'Baneshan' and 'Neelum' mangoes. **Journal of Food Science Technology**, Oxford, v. 24, n. 1, p. 20-23, 1987.

GURRIERI, S.; MICELI, L.; LANZA, C. M.; TOMASELLI, F.; BONOMO, R. P.; RIZZARELLI, E. Chemical Characterization of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) and Perspectives for the Storage of Its Juice. **Journal of Agricultural Food Chemistry**. Washington, v. 48, n. 11, p. 5424-5431, 2000.

HERNÁNDEZ, C. S. Fabricação de alimentos e obtenção de subprodutos. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE, 2001. cap. 15, p. 140-146.

HERNANDEZ, E.; CHEN, C. S.; JOHNSON, J.; CARTER, R. D. Viscosity changes in orange juice after ultrafiltration and evaporation. **Journal of Food Engineering**, New York, v. 25, n. 3, p. 387-396, 1995.

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

HOLDSWORTH, S. D. Consistency and texture of fruit products. **Food Manufacture**, London, v. 48, n.7, p. 25-27, 1973.

IBARZ, A.; GONZALEZ, C.; ESPULGAS, S. Rheology of clarified fruit juices. III orange juices. **Journal of Food Engineering**, New York, v. 21, p. 485-494, 1994.

IBARZ, A.; GONZALEZ, C.; ESPULGAS, S.; VICENTE, M. Rheology of clarified fruit juices. I Peach juices. **Journal of Food Engineering**, New York, v. 15, p. 49-61, 1992.

IBARZ, A.; VICENTE, M.; GRAELL, J. Rheological behaviour of apple juice and pear juices and their concentrates. **Journal of Food Engineering**, New York, v.6, n.8, p.257-267, 1987.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos.** 3 ed. São Paulo, 1985, v. 1, 533 p.

JUSZCZAK, L.; WITCZAK, M.; FORTUNA, T.; BANYŚ, A. Rheological properties of commercial mustards **Journal of Food Engineering**, New York, v. 63, p. 209–217, 2004.

LAHSANI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J. T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, New York, v. 61, n.2, p. 173–179, 2004.

LEITÃO, M. F de F. Microbiologia de frutas tropicais e seus produtos. In: Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos.** São Paulo: ITAL, 1980, p. 83–126 (Série Frutos Tropicais).

MATSUURA, F. C. A. U.; MENEZES, H. C.; GASPARETTO, C. A. **Comportamento reológico de suco integral de acerola concentrado.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 16., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCTA, 1998. CD-ROM.

MITSCHKA, P. Simple conversion of brookfield RVT: readings into viscosity functions. **Rheol. Acta**, Prague, v. 21, p. 207-209, 1982.

MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow behaviour of concentrated orange juice: mathematical treatment. **Journal of Texture Studies**, Dordrecht, v. 3, n.2, p. 69-79, 1972.

MOHAMED-YASSEEN, Y.; BARRINGER, S. A.; SPLITTSTOESSER, W. E. A note on the uses of *Opuntia* spp. in Central/North America. **Journal of Arid Environments**, Columbus, v. 32, n.3, p. 347-353, 1996.

MOURA, S. C. S.; VITALI, A. de A.; FRANÇA, V. C. L. Propriedades termofísicas de soluções modelo similares a creme de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 209-215, 2001.

MULLER, H.G. **An introduction to food rheology**. London: Heinemann, 1973. 148p.

NAVARRO, R. F. **Fundamentos de reologia de polímeros**. Caxias do Sul: EDUCS, 1997. 26 p. il.

PEARSON, D. **The chemical analysis of food**. 6. ed. London: J. and A. CHURCHILL, 1970.

PELEGRINE, D. H.; SILVA, F. C.; GASPARETTO, C. A. Rheological behavior of pineapple and mango pulps. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, New York, v. 35, n. 8 p. 645-648, 2002.

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

- PEREIRA, E. A. QUEIROZ A J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de Comportamento reológico de mel da abelha uruçú (*Melipona scutellaris*, L.). **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 5, n. 2, p. 179-186, 2003.
- QUEIROZ, A. J. de M. **Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga**. 1998, 170 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.
- QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; CABRAL, M. F. P. **Reologia de suco de cupuaçu**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. CD.
- RAO, M. A.; ANANTHESWARAN, R. C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**, Chicago, v. 36, n. 2, p. 116-126, 1982.
- RAO, M. A.; COOLEY, H. J. Applicability of Flow Models with Yield for Tomato Concentrates. **Journal of Food Process Engineering**, Connecticut, v. 6, p. 159-173, 1983.
- RAO, M. A.; RIZVI, S. S. **Engineering properties of foods**. New York: Marcel Dekker, 1994. 531p.
- RODRIGUES, J. A. S.; PINHEIRO, R. V. R.; MANICA, I.; CASALI, V. W. D.; CONDÊS, A. R. Comportamento de dez variedades de manga (*Mangifera indica*) em Viçosa e Visconde do Rio Branco. **Ceres**, Viçosa, v. 24, n. 136, p. 580-595, 1997.
- SÁENZ, C.; COSTELL, E. Comportamiento reológico de productos de limón: Influencia de la temperatura y de la concentración. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 26, n. 4, p. 581-588, 1986.
- SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E. Cactus pear fruit. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, Santiago, v. 4, p. 3-10, 2001.
- SARAVACOS, G. D. Effect of temperature on viscosity of fruits juice and purees. **Journal of Food Science**, Chicago v. 35, n.2, p. 122-125, 1970.

SAWAYA, W. N.; KHATCHADOURIAN, W. M.; AL-HAMMAD, H. M. Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus indica*, and the manufacturing of prickly pear jam. **Journal of Food Technology**, Oxford, v. 18, p. 183-193, 1983.

SEPÚLVEDA, E.; SÁENZ, C. **Tuna anaranjada cultivada en Chile: caracterización del fruto y de la pulpa**. In: CONGRESO NACIONAL, 8, Y INTERNACIONAL SOBRE CONOCIMIENTO Y APROVECHAMIENTO DEL NOPAL, 6., 1999, San Luis Potosí, 1999. p. 8-9.

SEPÚLVEDA, E.; SÁENZ, C. Chemical and physical characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) pulp. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**. Valencia, v. 30, p. 551-555, 1990.

SHARMA, S. K.; LEMAGUER, M.; LIPTAY, A.; POYSA, V. Effect of composition on the rheological properties of tomato thin pulp. **Food Research International**. Ottawa, v. 29, n. 2, p. 175-179, 1996.

SHETH, B. B. Viscosity measurements and interpretation of viscosity data. **Journal of Texture Studies**, Chicago, v. 7, n. 2, p. 157-178, 1976.

SILVA, C. L. da. **Caracterização reológica e físico-química de méis de abelha (*Apis mellifera* L.)**. 2001. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

SILVA, F. A. S. e ; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, F. C. da. **Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e temperatura**. 1999. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. Michigan: Freeman Press, 1996.

TORRES, L. de B. V.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUÊREDO, R. M. F. de. **Viscosidades aparentes de polpa de umbu-cajá.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. CD.

VAN WAZER, J. R.; LYONS, J. W.; KIM, K. Y.; COLWELL, R. E. **Viscosity and flow measurement: a laboratory handbook of rheology.** New York: Interscience Publishers, 1963. 406 p.

VARSHNEY, N. N.; KUMBHAR, B. K. Effect of concentration and temperature on rheological properties of pineapple and orange juices. **Journal of Food Science Technology**, Oxford, v. 15, n. 2, p. 53-55, 1978.

VITALI, A. A., RAO, M. A. Flow behavior of guava puree as a function of temperature and concentration. **Journal Texture Studies**, Chicago, v. 13, n. 3, p. 275-289, 1982.

VITALI, A. A., RAO, M. A. Flow Properties of Low-Pulp concentrated Orange Juice Serum Viscosity and Effect of Pulp Content. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, n. 3, p. 876-881, 1984.

WHITTEMBERGER, R. T.; NUTTING, G. C. Effect of tomato cell structures on consistency of tomato juice. **Food Technology**, v. 13, p. 19-22, 1957.

WITHERSPOON, J. M.; JACKSON, J. F. **Analysis of fresh and dried apricot.** In: LINSKENS, H. F.; JACKSON, J. F. **Fruit analysis.** Berlin: Springer, v. 18, 1995. cap. 7, p. 111-131.

APÊNDICE A

Tabela A.1 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 10°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	19794.89258	2827.84180	7233.1724 **
Concentração	5	8492.94434	1698.58887	4344.7217 **
Interação vel. x conc.	35	9636.38086	275.32516	704.2382 **
Resíduo	240	93.82910	0.39095	
Total	287	38018.04688		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.2 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 20°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	16125.69434	2303.67065	10121.4805 **
Concentração	5	7065.37549	1413.07507	6208.5317 **
Interação vel. x conc.	35	7931.85254	226.62436	995.7040 **
Resíduo	240	54.62451	0.22760	
Total	287	31177.54688		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.3 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 30°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	13749.59180	1964.22742	5346.5410 **
Concentração	5	5846.54248	1169.30847	3182.8066 **
Interação vel. x conc.	35	6934.51611	198.12903	539.2986 **
Resíduo	240	88.17188	0.36738	
Total	287	26618.82227		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.4 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 40°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	12197.97070	1742.56726	3904.2861 **
Concentração	5	5074.61768	1014.92352	2273.9736 **
Interação vel. x conc.	35	6069.67139	173.41919	388.5521 **
Resíduo	240	107.11719	0.44632	
Total	287	23449.37695		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.5 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 50°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	10955.04688	1565.00671	5655.2866 **
Concentração	5	4432.95459	886.59094	3203.7729 **
Interação vel. x conc.	35	5475.56494	156.44472	565.3265 **
Resíduo	240	66.41602	0.27673	
Total	287	20929.98242		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.6 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na temperatura 60°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	9692.43262	1384.63318	6006.3354 **
Concentração	5	3671.22388	734.24475	3185.0461 **
Interação vel. x conc.	35	4896.79004	139.90828	606.9016 **
Resíduo	240	55.32690	0.23053	
Total	287	18315.77344		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.7 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 13°Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	773.44989	110.49284	4446.3403 **
Temperatura	5	31.20007	6.24001	251.1043 **
Interação vel. x temp.	35	53.37376	1.52496	61.3661 **
Resíduo	240	5.96407	0.02485	
Total	287	863.98779		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.8 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 16°Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	2483.40186	354.77170	8370.9189 **
Temperatura	5	24.49886	4.89977	115.6112 **
Interação vel. x temp.	35	23.30225	0.66578	15.7092 **
Resíduo	240	10.17155	0.04238	
Total	287	2541.37451		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.9 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 19°Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	5153.15674	736.16522	14376.2256 **
Temperatura	5	128.69807	25.73961	502.6569 **
Interação vel. x temp.	35	92.54346	2.64410	51.6354 **
Resíduo	240	12.28971	0.05121	
Total	287	5386.68799		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.10 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 22°Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	14292.76855	2041.82410	12119.7646 **
Temperatura	5	124.75033	24.95007	148.0974 **
Interação vel. x temp.	35	83.65462	2.39013	14.1872 **
Resíduo	240	40.43295	0.16847	
Total	287	14541.60645		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.11 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 25°Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	25119.99414	3588.57056	10533.0713 **
Temperatura	5	427.71030	85.54206	251.0806 **
Interação vel. x temp.	35	812.12042	23.20344	68.1061 **
Resíduo	240	81.76694	0.34070	
Total	287	26441.59180		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.12 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de figo-da-índia, na concentração 28°Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade	7	73511.16406	10501.59473	7993.4185 **
Temperatura	5	1337.70313	267.54062	203.6418 **
Interação vel. x temp.	35	1063.15369	30.37582	23.1209 **
Resíduo	240	315.30725	1.31378	
Total	287	76227.32813		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ns - não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

APÊNDICE B

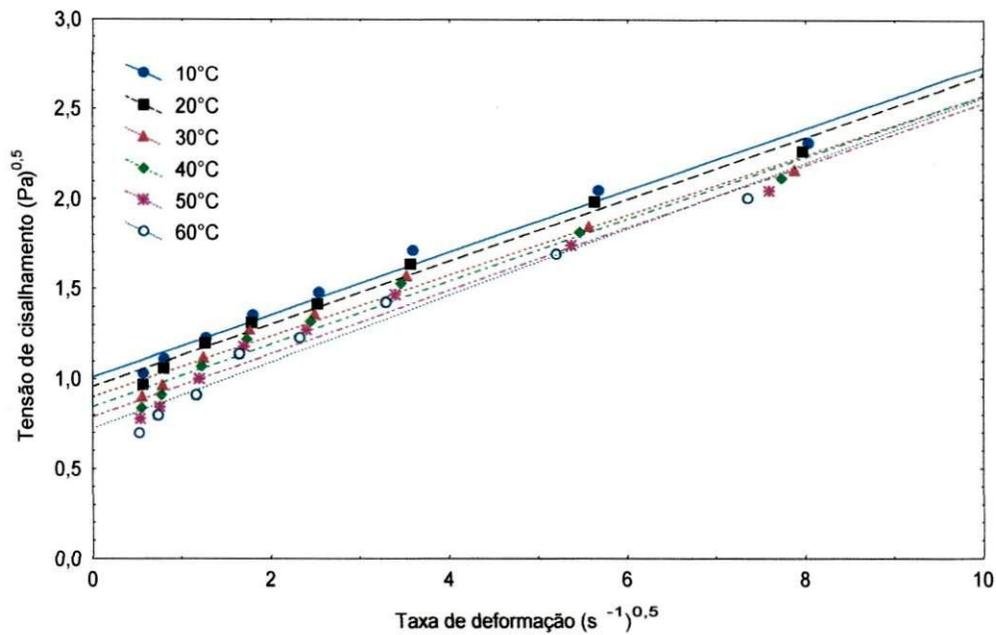


Figura B.1 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 13°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.

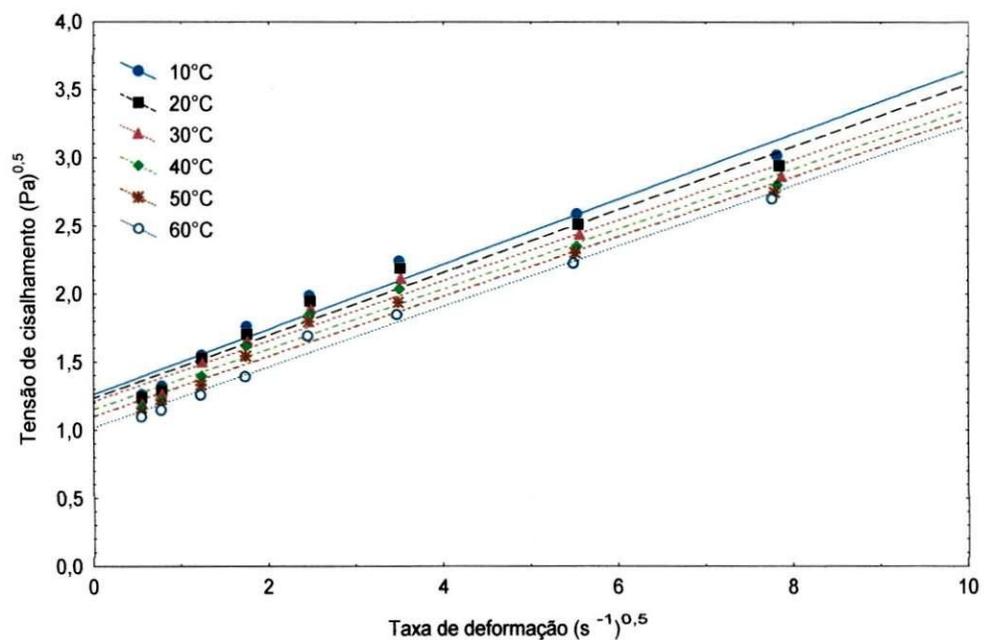


Figura B.2 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 16°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.

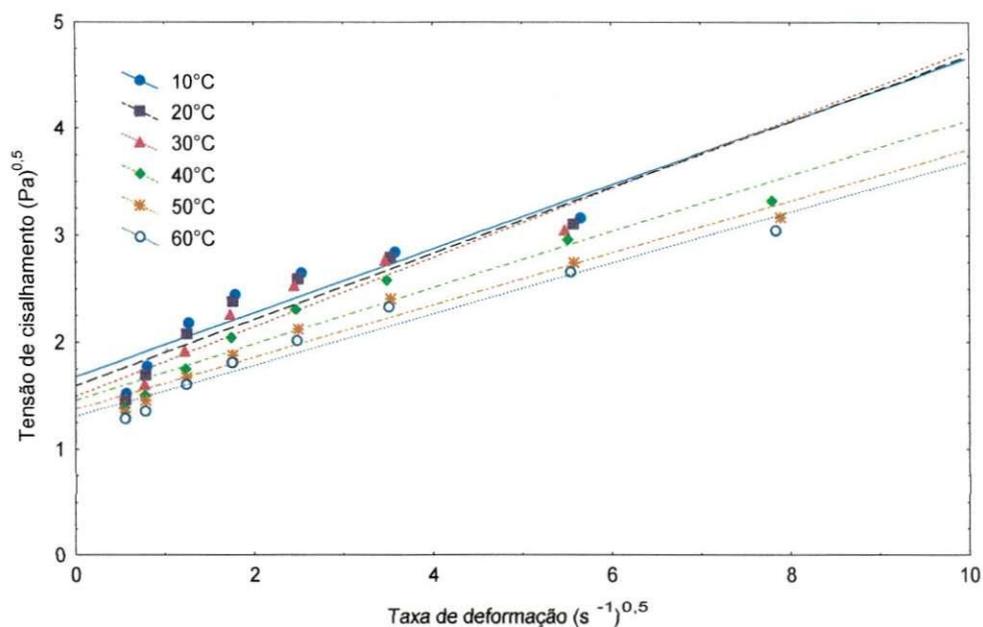


Figura B.3 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 19°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.

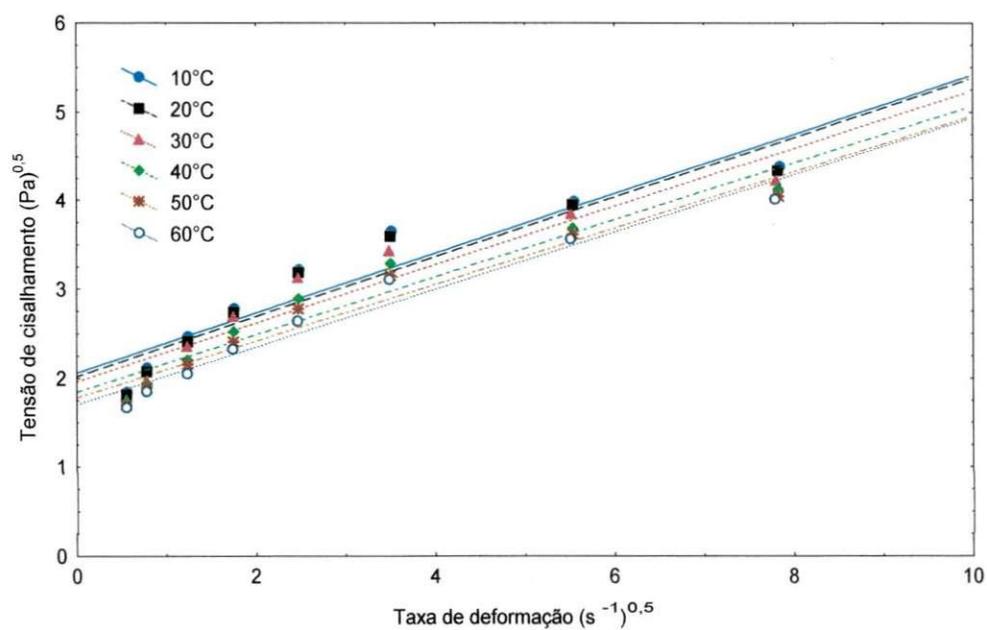


Figura B.4 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 22°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.

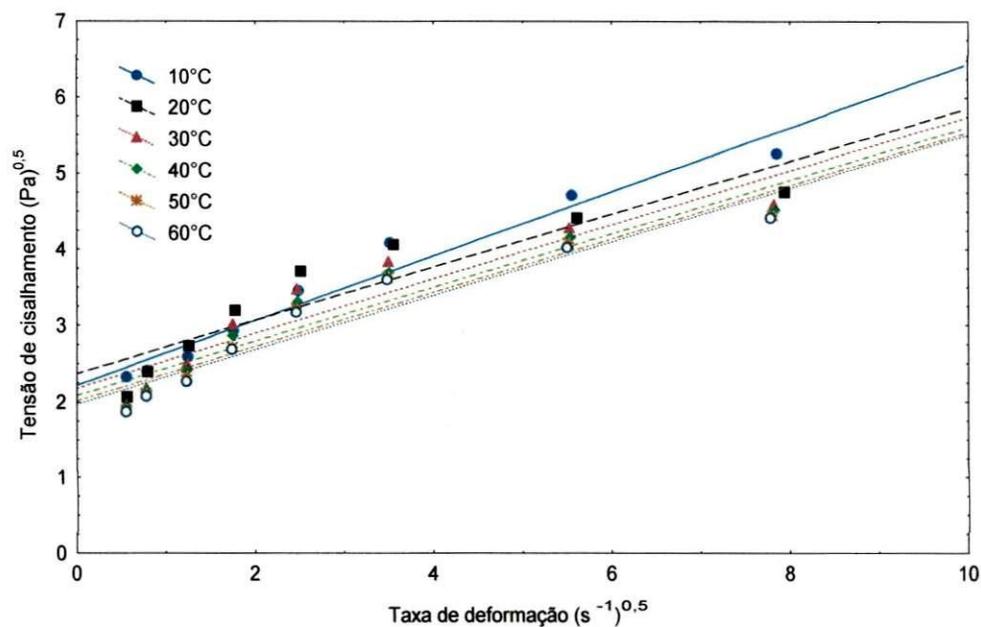


Figura B.5 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 25°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.

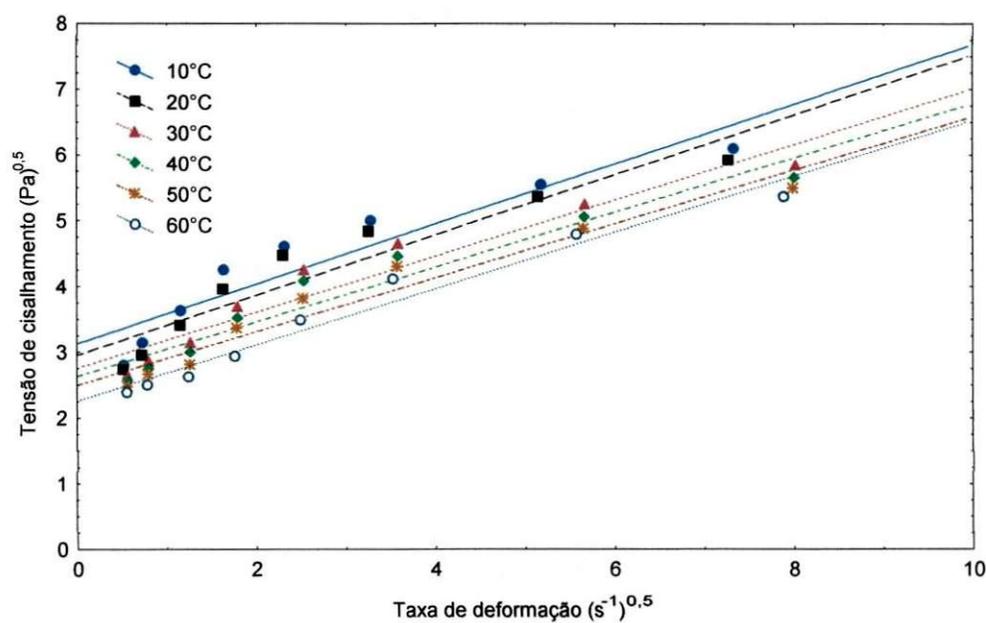


Figura B.6 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 28°Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.

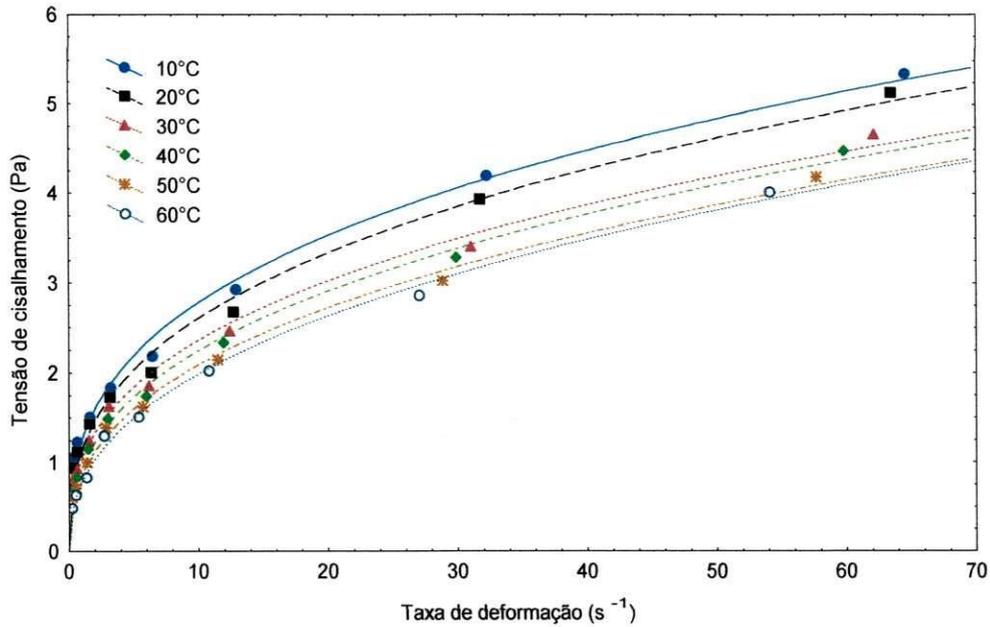


Figura B.7 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 13°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da potência).

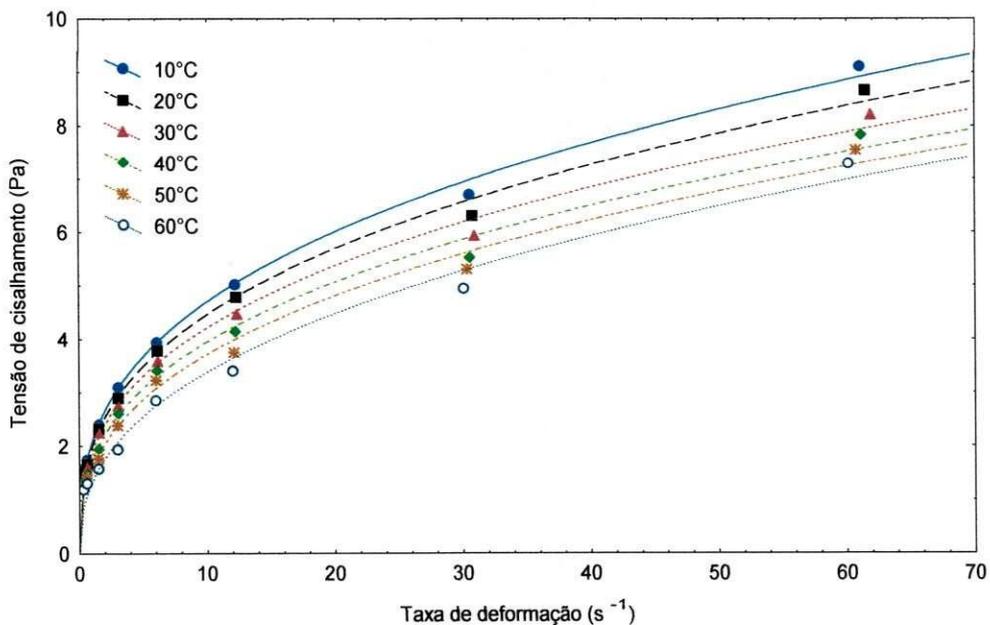


Figura B.8 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 16°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da potência).

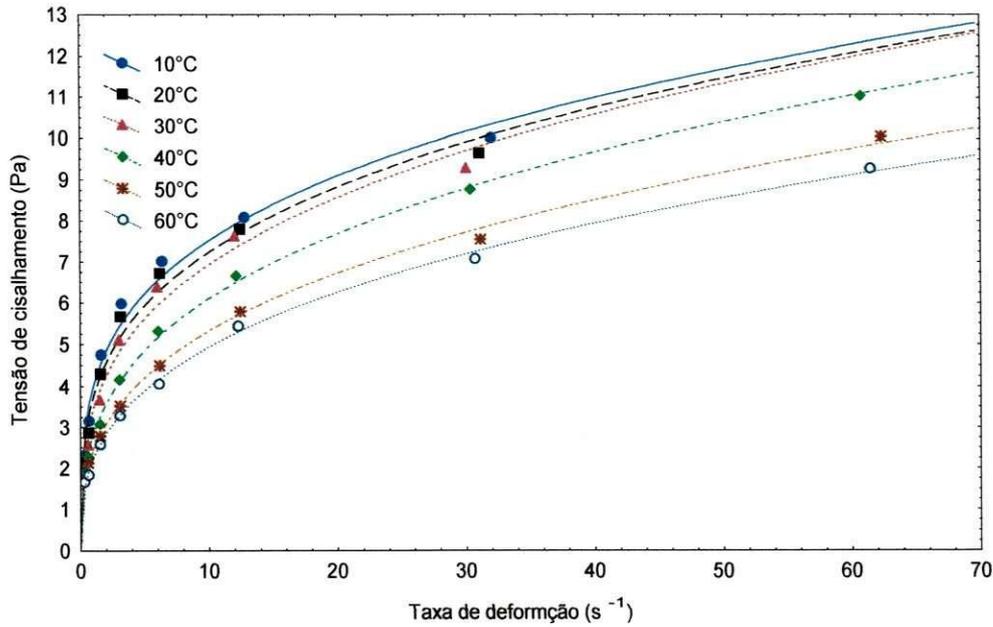


Figura B.9 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 19°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da potência).

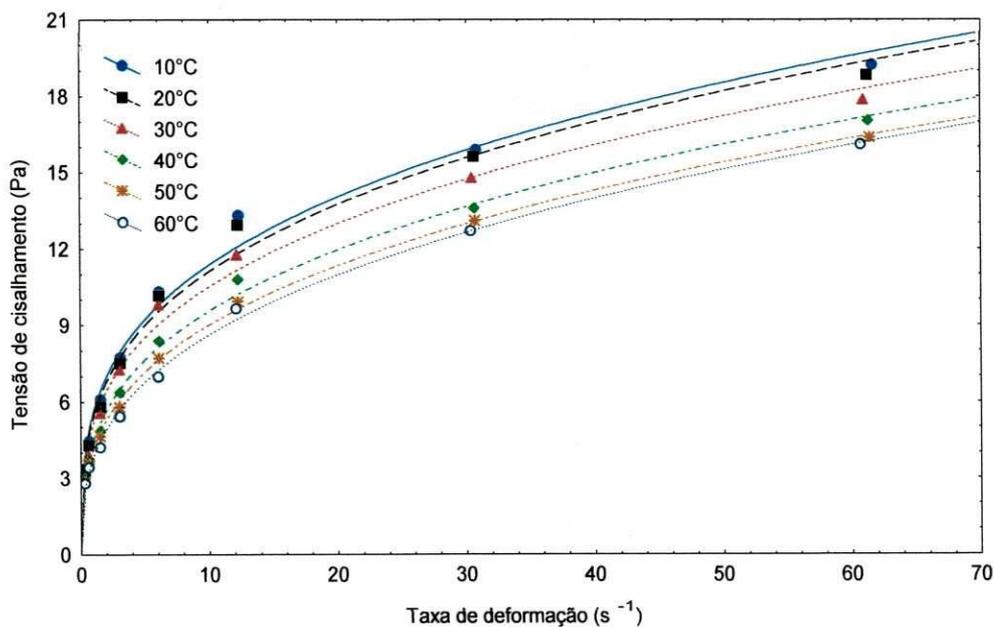


Figura B.10 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 22°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da potência).

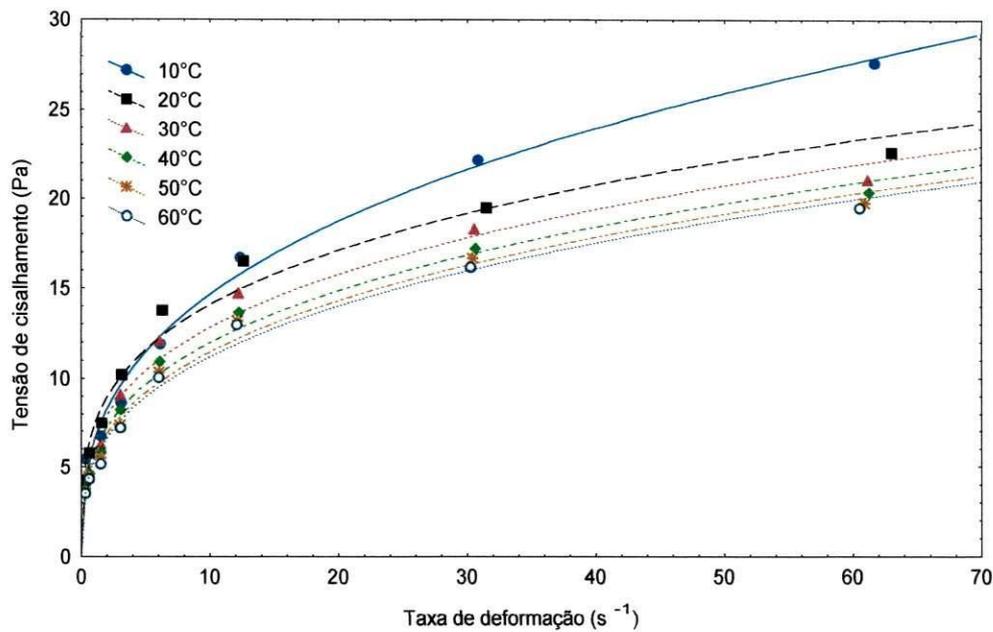


Figura B.11 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 25°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da potência).

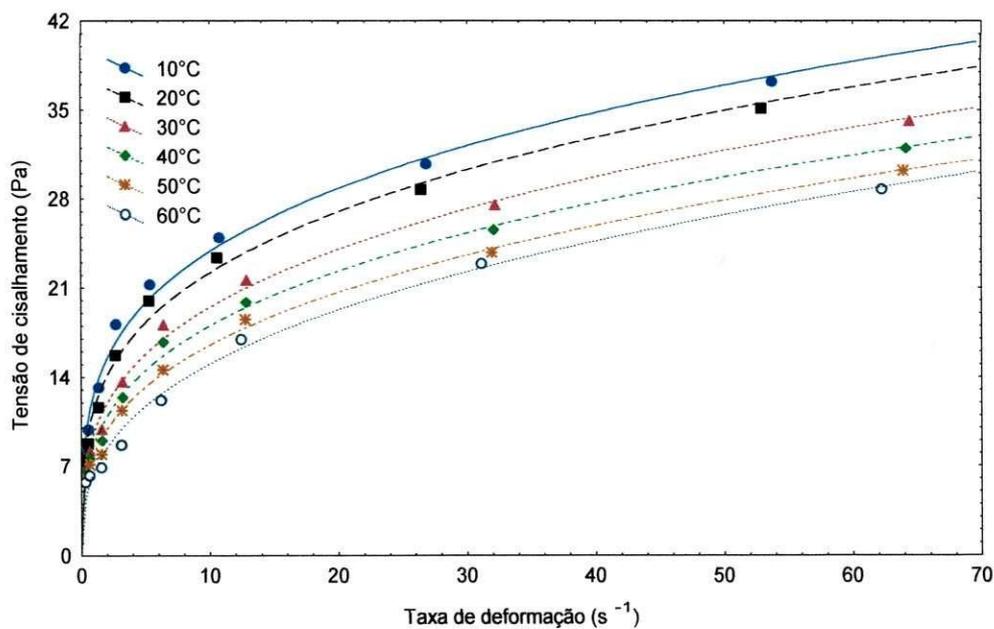


Figura B.12 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 28°Brix, com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da potência).

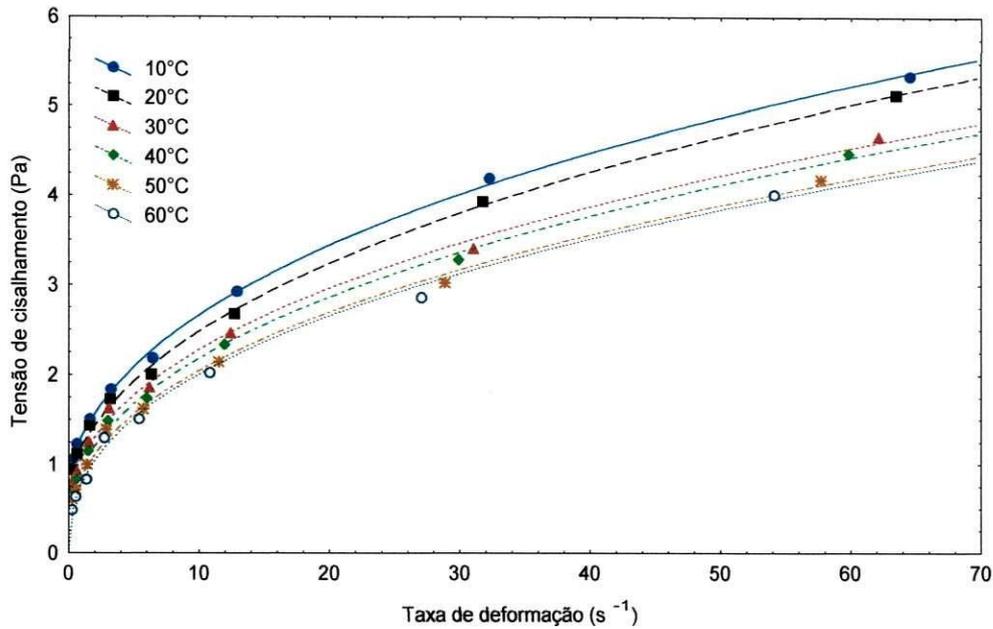


Figura B.13 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 13°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.

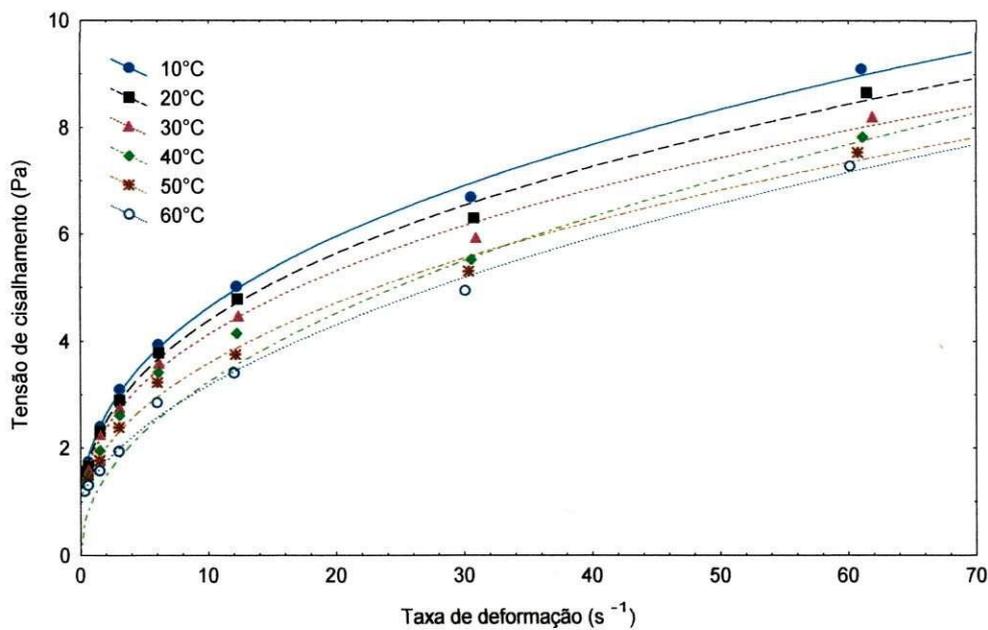


Figura B.14 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa-de-figo da índia na concentração de 16°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.

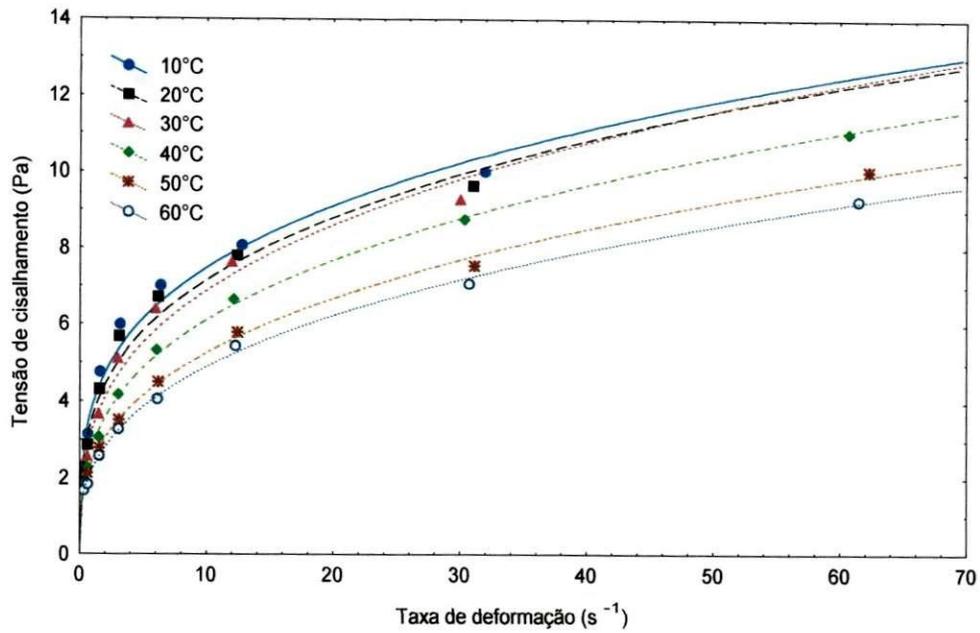


Figura B.15 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-índia na concentração de 19°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.

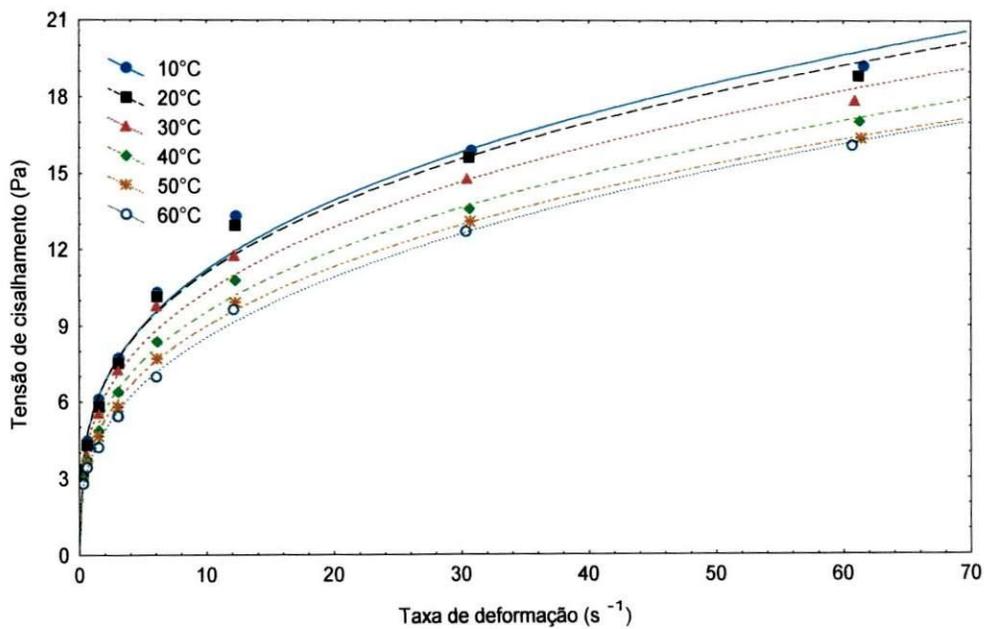


Figura B.16.- Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo da índia na concentração de 22°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.

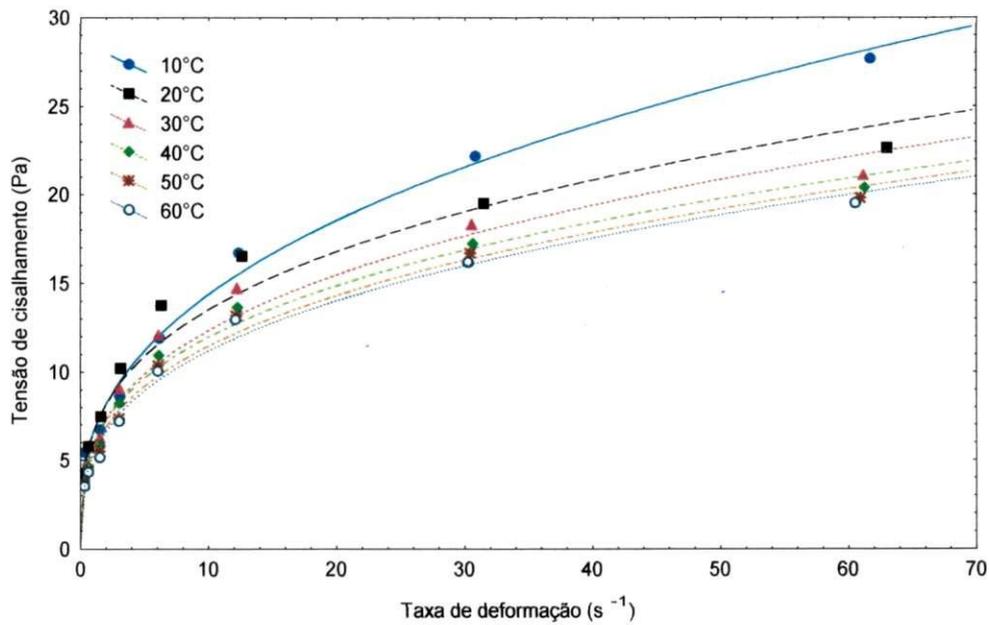


Figura B.17.- Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo da Índia na concentração de 25°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.

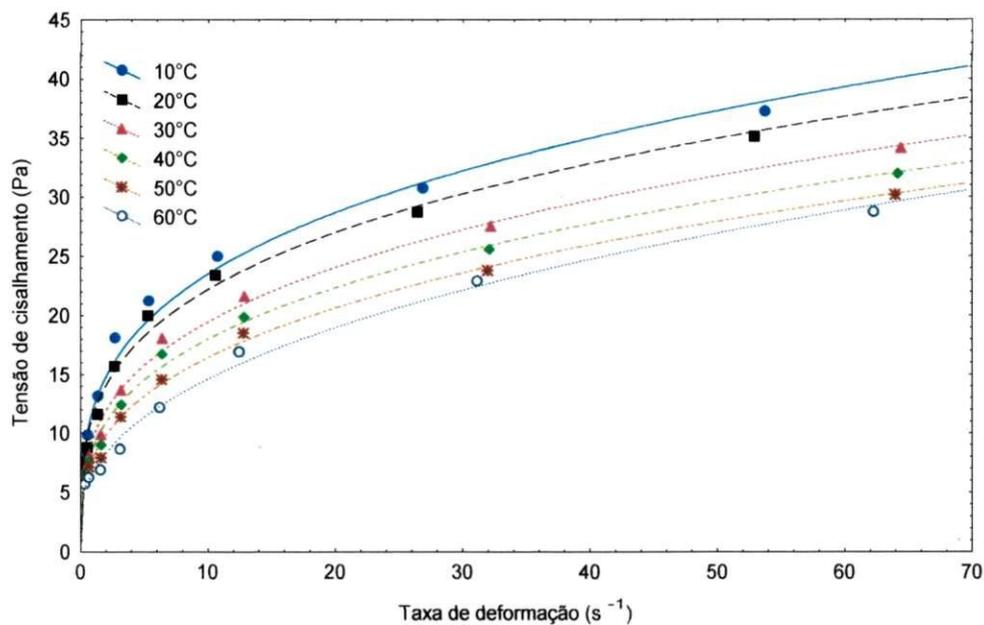


Figura. B.18 - Representação gráfica da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de figo-da-Índia na concentração de 28°Brix, com ajuste pelo modelo de Vocadlo.