



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Dissertação de Mestrado

COMPORTAMENTO REOLÓGICO E
PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS
DA POLPA DE GOIABA

MÉLIO JOSÉ LIRA PEREIRA

Biblioteca UFCG
SMBC_CDSA
CAMPUS DE SUMÉ
Reg.10536/12

Campina Grande
Paraíba



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS
NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA
AGRÍCOLA



DISSERTAÇÃO

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

Dis
631(043.3)
P436C
v. 01

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO E PROPRIEDADES
TERMOFÍSICAS DA POLPA DE GOIABA**

NÉLIO JOSÉ LIRA PEREIRA



**Campina Grande – Paraíba
SETEMBRO - 2011**

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO E PROPRIEDADES
TERMOFÍSICAS DA POLPA DE GOIABA**

NÉLIO JOSÉ LIRA PEREIRA

**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: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

ORIENTADORES: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Prof.^a Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo



Campina Grande - Paraíba

Setembro - 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

P436c

Pereira, Nélio José Lira.

Comportamento reológico e propriedades termofísicas da polpa de goiaba / Nélio José Lira Pereira. - Campina Grande, 2012.

85f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: Prof. Alexandre José de Melo Queiroz, Profa. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo.

Referências.

1. *Psidium guajava* (Goiaba). 2. Frutas Tropicais. 3. Reologia. 4. Viscosidade. 5. Condutividade Térmica. I. Título.

CDU 631.563.2 (043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

NÉLIO JOSÉ LIRA PEREIRA

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO E PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA POLPA
DE GOIABA (*Psidium Guajava* L.)**

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Alexandre J M Queiroz
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz – Orientador

APROVADO

Rossana Mª F de Figueiredo
Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueiredo – Orientadora

Aprovado

Gilvanete Maria Ferreira
Dra. Gilvanete Maria Ferreira – Examinadora

Aprovado

Ana Regina Campos
Dra. Ana Regina Nascimento Campos – Examinadora

Aprovado



SETEMBRO - 2011



DEDICATÓRIA

A Deus, criador de todas as coisas

A nossa Mãe Santíssima Virgem Maria

A meus Pais (*in memoriam*)

A minha esposa, filhas, irmãos, irmãs, genros e familiares.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter um plano em minha vida.

A meus Pais, pela dedicação e ensinamentos de vida que me fizeram crescer, “conserva minhas palavras em teu coração e guarda meus preceitos e viveras.”

A minha esposa, que tanto amo, companheira que sempre me apoiou em tudo, e acreditou em minhas conquistas.

A minhas filhas, genros, irmãos, irmãs e sogra, que completam o meu Eu.

Ao professor Alexandre de Melo Queiroz, pela dedicação, empenho, conhecimento transmitido, orientações, correções e amizade.

À professora Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, pela dedicação, empenho, conhecimento transmitido, orientações, correções e amizade.

À professora Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia, pela coordenação, ensinamentos e amizade.

A todos os Professores que lecionaram com muita competência, suas respectivas disciplinas e que tanto me ajudaram em crescimento intelectual e profissional.

Aos nossos colegas de turma, pelo companheirismo e amizade, especialmente aos professores e amigos João e Vansostenes, e seus familiares, pela troca de conhecimento, companheirismo, irmandade e acolhimento.

À Universidade Federal de Campina Grande, por me ter possibilitado este evento do MINTER.

Ao Instituto Federal de Pernambuco, Campus Vitória, por ter permitido minha participação No Mestrado do MINTER.

À FACEPE, pelo suporte financeiro.

Ao Professor Doutor Francisco Braga, pela coordenação do curso.

Aos Doutorando (as) Edmilson, Vanessa, Karla, Tâmila e Leila, que tanto nos ajudaram contribuindo com suas experiências nas análises químicas e físico-químicas.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente com este trabalho.

O MEU MUITO OBRIGADO.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1– Objetivo geral.....	2
1.2 – Objetivos específicos.....	2
2 – REVISÃO IBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 - Goiaba.....	3
2.2 - Características químicas, físicas e físico-química.....	4
2.2.1 - pH.....	4
2.2.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix).....	5
2.2.3 - Sólidos Totais/umidade.....	5
2.2.4 - Atividade de água (a_w).....	6
2.2.5 - Cinzas.....	6
2.2.6 - Cor.....	7
2.3 - Reologia dos fluidos.....	8
2.3.1 - Fluidos newtonianos.....	9
2.3.2 - Fluidos não newtonianos.....	10
2.3.2.1 - Fluidos independentes do tempo.....	11
2.3.2.1.1 - Fluidos pseudoplásticos.....	11
2.3.2.1.2 - Fluidos dilatantes.....	12
2.3.2.2 – Fluidos dependente do tempo.....	12
2.3.2.2.1- Fluidos tixotrópicos.....	12
2.3.2.2.2- Fluidos reopéticos.....	13
2.3.3 - Modelos reológicos.....	13
2.3.3.1 - Modelo da Lei da potência.....	13
2.3.3.2 - Modelo de Casson.....	14
2.3.3.3 - Modelo de Herschel-Bulkley.....	14
2.3.3.4 - Modelo de Mizrahi-Berk.....	15
2.4 - Propriedades termofísicas.....	16

2.4.1 - Massa específica.....	16
2.4.2 - Calor específico.....	17
2.4.3 - Condutividade térmica.....	18
2.4.4 - Difusividade térmica.....	19
3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 - Matéria-prima.....	21
3.2 - Processamento dos frutos.....	21
3.2.1 - Seleção.....	22
3.2.2 - Lavagem e desinfecção.....	22
3.2.3 - Despolpamento.....	22
3.2.4 - Acondicionamento.....	22
3.2.5 - Armazenamento.....	22
3.3 - Caracterização química, física e físico-química.....	22
3.3.1 - pH.....	23
3.3.2 - Sólidos solúveis totais (Brix).....	23
3.3.3 - Sólidos totais / umidade.....	23
3.3.4 - Cinzas.....	23
3.3.5 - Atividade de água (a_w).....	23
3.3.5 - Cor.....	23
3.4 - Preparo das amostras.....	24
3.5 - Propriedades termofísicas.....	24
3.5.1 - Calor específico.....	24
3.5.2 - Massa específica.....	26
3.5.3 - Difusividade térmica.....	27
3.5.4 - Condutividade térmica.....	28
3.5.5 - Erro percentual.....	29
3.5.6 - Análise estatística.....	29
3.6 - Reologia.....	30
3.6.1 - Conversão dos dados experimentais.....	30
3.6.2 - Modelos reológicos.....	30
3.6.3 - Influência da temperatura.....	32
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 - Caracterização química, física e físico-química.....	33

URCG - BIBLIOTECA

4.2 - Comportamento reológico.....	34
4.2.1 - Modelos reológicos.....	34
4.2.2 - Viscosidades aparentes.....	44
4.2.2.1 - Arrhenius.....	50
4.3 - Propriedades termofísicas.....	55
4.3.1 - Calor específico.....	55
4.3.2 - Difusividade térmica.....	56
4.3.3 - Condutividade térmica.....	58
4.3.4 - Massa específica.....	59
5 – CONCLUSÕES.....	61
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
APENDICE A.....	75
APENDICE B.....	79



LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Equações para estimar a massa específica de sucos e polpa de frutas.....	17
Tabela 3.1	Equações utilizadas para o cálculo teórico do calor específico das polpas de goiaba.....	26
Tabela 3.2	Equações utilizadas no cálculo teórico da massa específica das polpas de goiaba.....	26
Tabela 3.3	Equações utilizadas no cálculo teórico da difusividade térmica das polpas de goiaba.....	28
Tabela 3.4	Equações utilizadas no cálculo teórico da condutividade térmica das polpas de goiaba.....	29
Tabela 4.1	Valores médios dos parâmetros da caracterização química, física e físico-química, das polpas de goiaba a 8, 10 e 12° Brix.....	33
Tabela 4.2	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvio percentual médio (%) dos modelos reológicos Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk para a polpa de goiaba a 8 °Brix.....	36
Tabela 4.3	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvio percentual médio (%) dos modelos reológicos Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk para a polpa de goiaba a 10° Brix.....	39
Tabela 4.4	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvio percentual médio (%) dos modelos reológicos Lei da Potencia, Casson, Herchel- Bulkley e Mizrahi & Berk para a polpa do fruto da goiaba concentrada com 12° Brix.....	42
Tabela 4.5	Viscosidade aparente da polpa da goiaba com 8 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura.....	45
Tabela 4.6	Viscosidade aparente da polpa da goiaba 10 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura.....	47
Tabela 4.7	Viscosidade aparente da polpa da goiaba 12 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura.....	49



Tabela 4.8	Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de goiaba com 8° Brix calculada pela equação do tipo Arrhenius.....	52
Tabela 4.9	Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de goiaba com 10 °Brix calculada pela equação do tipo Arrhenius.....	53
Tabela 4.10	Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de goiaba com 12 °Brix calculada pela equação do tipo Arrhenius.....	55
Tabela 4.11	Valores experimentais médios do calor específico das polpas de goiaba a 8, 10 e 12 °Brix.....	55
Tabela 4.12	Valores teóricos do calor específico para a polpa de goiaba e os erros percentuais.....	56
Tabela 4.13	Valores experimentais médios de difusividade térmica das polpas de goiaba nas concentrações de 8, 10 e 12° Brix.....	57
Tabela 4.14	Valores teóricos da difusividade térmica (m^2/s) para a polpa de goiaba e os erros percentuais.....	57
Tabela 4.15	Condutividade térmica da polpa de goiaba com diferentes concentrações.....	58
Tabela 4.16	Valores teóricos da condutividade térmica (W/mK) da polpa de goiaba.....	58
Tabela 4.17	Valores médios de massa específica das polpas de goiaba nas concentrações de 8, 10 e 12° Brix e temperaturas de 10 a 50° C.....	59
Tabela 4.18	Valores teóricos da massa específica para a polpa de goiaba e os erros percentuais.....	60
Tabela A.1	Análise de variância das cinzas da polpa de goiaba com diferentes concentrações	76
Tabela A.2	Análise de variância dos sólidos solúveis totais da polpa de goiaba com diferentes concentrações.....	76
Tabela A.3	Análise de variância da umidade da polpa de goiaba com diferentes concentrações.....	76



Tabela A.4	Análise de variância da atividade de água da polpa de goiaba com diferentes concentrações.....	76
Tabela A.5	Análise de variância da luminosidade da polpa de goiaba com diferentes concentrações.....	77
Tabela A.6	Análise de variância da intensidade de amarelo da polpa de goiaba com diferentes concentrações.....	77
Tabela A.7	Análise de variância da intensidade de vermelho da polpa de goiaba com diferentes concentrações.....	77
Tabela A.8	Análise de variância do calor específico da polpa de goiaba com diferentes concentrações.....	77
Tabela A.9	Análise de variância da difusividade térmica da polpa de goiaba com diferentes concentrações.....	78
Tabela A.10	Análise de variância da condutividade térmica da polpa de goiaba com diferentes concentrações.....	78
Tabela A.11	Análise de variância da massa específica da polpa de goiaba com diferentes concentrações e temperaturas.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Fruto da goiaba (<i>Psidium guajava</i> L.).....	4
Figura 3.1	Fluxograma com as etapas do processamento das goiaba.....	21
Figura 4.1	Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da amostra a 8°Brix, com ajustes pelo modelo de Herschel-Bulkley.....	38
Figura 4.2	Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da amostra a 10 °Brix, com ajustes pelo modelo de Herschel-Bulkley.....	41
Figura 4.3	Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da amostra a 12 °Brix, com ajustes pelo modelo de Herschel-Bulkley.....	44
Figura 4.4	Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa a 8 °Brix, nas temperaturas de 10 a 50 °C.....	46
Figura 4.5	Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa a 10 ° Brix, nas temperaturas de 10 a 50 °C.....	48
Figura 4.6	Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa a 12 ° Brix, nas temperaturas de 10 a 50 °C.....	50
Figura 4.7	Viscosidade aparente da polpa de goiaba com 8 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação...	51
Figura 4.8	Viscosidade aparente da polpa de goiaba com 10 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação...	53
Figura 4.9	Viscosidade aparente da polpa de goiaba com 12 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação...	54
Figura B.1	Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 8 °Brix, com ajuste pelo modelo da lei da Potência.....	80
Figura B.2	Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 8 °Brix, com ajuste pelo modelo de Casson.....	80

Figura B.3	Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 8 °Brix, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	81
Figura B.4	Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 10 °Brix, com ajuste pelo modelo da lei da Potência.....	81
Figura B.5	Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 10 °Brix, com ajuste pelo modelo da lei de Casson.....	82
Figura B.6	Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 10 °Brix, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	82
Figura B.7	Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 12 °Brix, com ajuste pelo modelo da lei da Potência.....	83
Figura B.8.	Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 12 °Brix, com ajuste pelo modelo da lei de Casson.....	83
Figura B.9	Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 12 °Brix, com ajuste pelo modelo da lei de Mizrahi-Berk.....	84
Figura B.10	Temperatura no centro da polpa de goiaba com 8° Brix e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo	84
Figura B.11	Temperatura no centro da polpa de goiaba com 10° Brix e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo	85
Figura B.12	Temperatura no centro da polpa de goiaba com 12° Brix e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo	85

Dissertação de Mestrado: **Comportamento reológico e propriedades termofísicas da polpa da goiaba**

Autor: **Nélio José Lira Pereira**

Orientadores: **Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

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

RESUMO

Foram determinadas as propriedades reológicas e termofísicas de polpas de goiaba cv. Paluma, nas concentrações de 8, 10 e 12 °Brix. As amostras foram previamente caracterizadas quanto às características químicas, físicas e físico-químicas. As medidas viscométricas foram realizadas fazendo-se uso de um viscosímetro Brookfield, obtendo-se, desta forma dados de viscosidade aparente, torque, tensão de cisalhamento e taxa de deformação, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C. As propriedades termofísicas massa específica, foi determinada pelo método picnométrico; o calor específico pelo método das misturas e a difusividade térmica pelo método do cilindro infinito. A condutividade térmica foi obtida pela relação com a massa específica, calor específico e difusividade térmica, obtidos experimentalmente. Os modelos da Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk foram ajustados aos dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. As propriedades termofísicas também foram estimadas por meio de equações propostas em literatura cujos resultados foram comparados com os resultados experimentais. As polpas de goiaba se caracterizaram como ácidas, apresentaram comportamento pseudoplástico e as viscosidades aparentes foram influenciadas pela temperatura e seguiram uma relação do tipo Arrhenius. O calor específico foi reduzido com o aumento da concentração; a massa específica aumentou, seguindo relação direta com a concentração e inversa, com a temperatura, e foi bem estimada por meio de equações. A condutividade térmica calculada por equações propostas em literatura não resultou em estimativas aceitáveis.

Palavras-chave: *Psidium guajava*, frutas tropicais, reologia, viscosidade, condutividade térmica.

Master's dissertation: **Rheological behavior and thermophysical properties of guava pulp**

Author: **Nélio José Lira Pereira**

Advisors: **Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

Prof. Dr. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

ABSTRACT

The rheological and thermophysical properties of guava cv. Paluna pulp were determined at concentrations of 8, 10 and 12 °Brix, and temperatures between 10 and 50 °C. The samples, previously characterized with respect to chemical and physical properties, were submitted to viscometric measures, using a Brookfield RVT viscometer to obtain data on viscosity, torque, shear stress and shear rate. Shear stress and shear rate data were fit to the Power Law, Casson, Herschel-Bulkley and Mizrahi & Berk models. Thermophysical properties and the respective determination methodologies were density using the pycnometer method, specific heat by the method of mixtures, and thermal diffusiveness using the infinite cylinder method. Thermal conductivity was obtained from the relation with density, specific heat and thermal diffusiveness, obtained experimentally. Thermophysical properties were also estimated by equations proposed in the literature and results were compared with experimental results. Guava pulps are characterized as acids and concentration did not affect color, luminosity, redness or yellowness. Samples exhibited pseudoplastic behavior, while viscosity was influenced by temperature and followed an Arrhenius-type relation. Specific heat was reduced with an increase in concentration and density, following a direct relation with concentration and inverse with temperature. Density was estimated by equations at all concentrations. Thermal conductivity, calculated by equations proposed in the literature, did not result in acceptable estimates.

Keywords: *Psidium guajava*, tropical fruits, rheology, viscosity, thermal conductivity.

1 – INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca pela diversidade edafoclimática, que conduz a um grande potencial de produção de frutas, com alto índice de produtividade e qualidade. O País é exportador de frutas *in natura*, mas a expansão da demanda no mercado interno, tal como no externo, exige alimentos de qualidade e em variadas formas de apresentação, como polpas, néctares, sucos, compotas, doces e sorvetes, formas essas que processadas são agregadoras de valor, além de adequadas para a redução de perdas.

O centro de origem da goiabeira fica na região tropical da América, desde o sul do México até o Brasil, tratando-se de espécie bastante apreciada pelo seu sabor, aroma e teor nutricional. A cultivar Paluma é resultado de melhoramento e seleção realizado na UNESP – Jaboticabal, – São Paulo; seu lançamento foi na década de 1980, sendo bastante cultivada e altamente produtiva (até 100 t/ha), com frutos grandes, piriformes, com pequeno “pescoço”, casca lisa, amarela, polpa firme, espessa, vermelha, destinada basicamente à indústria.

O conhecimento referente às propriedades reológicas de polpa de frutas é de grande importância do ponto de vista sensorial e industrial, com influência na identificação de qualidade e na aceitabilidade e no projeto de equipamentos como bombas, tubulações, trocadores de calor, misturadores e filtros. Dados sobre as propriedades reológicas das polpas, sucos e demais derivados de frutas no Brasil são baseados em estimativas de parâmetros determinados no exterior devido à escassez de dados relativos às propriedades físicas de polpas de frutas tropicais, incluindo a goiaba, em particular, que tem levado a indústria nacional a utilizar, no processamento de polpas, condições semelhantes às aplicadas na produção de sucos de laranja. Os resultados não atingem o mesmo nível de qualidade pelas diferenças nas propriedades (FERREIRA et al., 2002). Igualmente importante é o estudo das propriedades termofísicas, que determinam as condições de troca de calor nos processos industriais de resfriamento e aquecimento empregados na manufatura de polpas, sucos e demais derivados de frutas.

Pela importância no processamento e na industrialização de polpas, tendo em vista a projeção de demandas energéticas e o dimensionamento das instalações utilizadas em pasteurização, esterilização, refrigeração e congelamento e também pela importância da industrialização da polpa da goiaba Paluma, realizou-se este trabalho com o objetivo de se determinar suas propriedades reológicas e termofísicas.

1.1 - Objetivo geral

Determinar as propriedades reológicas e termofísicas da polpa de goiaba cv. Paluma nas concentrações de 8, 10 e 12 °Brix.

1.1.1 - Objetivos específicos

Avaliar as características químicas, físicas e físico-químicas das polpas de goiaba com diferentes concentrações (8, 10 e 12 °Brix);

Determinar as viscosidades aparentes das polpas de goiaba com diferentes concentrações (8, 10 e 12 °Brix) e temperaturas (10, 20, 30, 40 e 50 °C);

Avaliar o efeito da temperatura sobre os dados de viscosidade aparente das diferentes amostras;

Analisar os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação das polpas de goiaba, nas diferentes temperaturas (10 a 50 °C) e ajustar os modelos reológicos Lei da Potência, Casson, Herschel–Bulkley e Mizrahi–Berk aos reogramas;

Quantificar nas diferentes polpas de goiaba as propriedades termofísicas: calor específico, difusividade térmica, condutividade térmica e massa específica;

Estimar as propriedades termofísicas por meio de equações e compara-las com os resultados experimentais.



2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Goiaba

A goiaba (*Psidium guajava* L.) é originária da região tropical das Américas e foi disseminada para as diferentes regiões do mundo (LEMOS et al., 1995), tendo em vista ser considerada boa fonte de vitamina C.

A goiaba é um dos frutos de maior importância nas regiões tropicais, não só devido ao elevado valor nutritivo, com excelente aceitação para o consumo *in natura* mas também por sua grande aplicação industrial; como se desenvolve nas condições adversas, se encontra entre os frutos com melhores perspectivas econômicas nas regiões em que cultivada (CHITARRA et al., 1981).

O cultivo da goiabeira está sendo desenvolvido em 50 países das áreas tropicais e subtropicais (MATTIUZ & DURIGAN, 2001). De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO, 2004) os grandes produtores mundiais de goiaba são a Índia e o Paquistão, o Brasil ocupa a quarta colocação, logo atrás do México, com 300 mil toneladas ao ano.

Segundo o Censo Agropecuário de 2005 (IBGE, 2012), a área plantada com goiabeira no Brasil é de 16.399 hectares e com produção de 345.553 toneladas, sendo o Nordeste a principal região produtora, participando com 156.886 toneladas e o estado de Pernambuco como maior produtor, a Bahia como segundo e o Ceará em terceiro.

É cultivada em mais de 50 países, nas áreas tropicais e subtropicais, incluindo também algumas áreas mediterrâneas (LEMOS et al., 1995). Constitui-se em uma das mais importantes matérias-primas para as indústrias de sucos, polpas e néctares.

Quanto ao aspecto químico nutricional, a goiaba tem certo destaque quanto ao conteúdo da vitamina C sendo, em média, 60% mais rica que os frutos cítricos, 49% mais que o mamão e 15 vezes mais rica que a maçã. Possui vitamina A e fibras e pode ser considerada uma fruta rica em pectina. A goiaba apresenta expressiva quantidade de cálcio e fósforo; no entanto, cerca de 80% do ferro estão nas sementes (MAIA et al., 1998).

O processamento de goiaba para obtenção de polpa é uma atividade agroindustrial importante na medida em que agrega valor econômico à fruta, evitando desperdícios e minimizando as perdas que podem ocorrer durante a comercialização do produto *in natura* (FURTADO et al., 2000).



Figura 2.1 - Fruto da goiaba (*Psidium guajava* L.) (Fonte: GOIABA, 2011)

2.2 - Características químicas, físicas e físico-químicas

2.2.1 - pH

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

Segundo CHAVES (1993) a determinação do pH em alimentos se torna necessária por vários fatores, dentre os quais influenciar a palatabilidade, desenvolvimento de micro-organismo, a 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.

De acordo com SOUZA NETO & SOUSA (2008) o pH é o potencial de hidrogênio livre em uma solução. A acidez ou alcalinidade de uma solução é expressa pelo valor de seu pH, em uma escala na qual a neutralidade é pH 7,0. Os valores de pH abaixo de 7,0 são ditos ácidos e aqueles acima de 7,0 são alcalinos. Com base nos valores de pH nos alimentos é possível avaliar o potencial contaminante microbiológico e a provável natureza do processo de deterioração que eles sofrerão.

2.2.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix)

CHITARRA & CHITARRA (1990) afirmaram que os sólidos solúveis totais indicam a quantidade, em grama, dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou na polpa e comumente são designado °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 dos frutos tem grande importância uma vez que, quanto maior a quantidade desses componentes menor será a quantidade 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 em frutos são a glicose, a frutose e a sacarose.

À medida que as frutas vão amadurecendo, o amido é hidrolisado em açúcares complexos que, por sua vez são transformados em açúcares simples. Consequentemente, com a maturação da fruta seus teores de sólidos solúveis vão aumentando. Portanto, os sólidos solúveis podem ser considerados índice de maturação da fruta (BLEINROTH, 1988).

A quantidade de sólidos solúveis totais nos frutos é imprescindível nas indústrias de alimentos em razão de seu teor ser inversamente proporcional à necessidade da indústria, de adicionar açúcar à polpa, com conseqüente redução dos custos de produção.

2.2.3 - Umidade

De acordo com BRASIL (2005) geralmente a umidade representa a água contida no alimento e corresponde à perda em peso, sofrida pelo produto quando aquecido em condições nas quais a água é removida.

Segundo PEREDA et al. (2005) a água é o componente majoritário dos alimentos, com seu conteúdo variando de 60 a 70% na carne até 90 a 95% nos vegetais; É essencial para a vida, por ser: portadora de substâncias nutritivas e de produtos de descarte; altamente reativa; estabilizadora das configurações biopolímeras e determinante nas reações com outras moléculas.

Conforme RODRIGUES (2003) nos frutos os valores médios do conteúdo de água são elevados e oscilam de variedade para variedade, dependem da época de colheita e do tempo de armazenamento. Porém, este valor não fornece qualquer indicação quanto a

maneira como a água está distribuída nem, muito menos, permite conhecer se toda a água está ligada da mesma maneira em dado alimento.

2.2.4 - Atividade de água (a_w)

A atividade de água (a_w) é definida como a relação entre a pressão de vapor de um alimento e a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura, com escala variando de 0 a 1.

Segundo SOUZA NETO & SOUSA (2008) medindo-se a atividade de água, é possível prever que micro-organismos serão potenciais fontes de deterioração. A atividade de água, e não a umidade, determina o limite mais baixo de água disponível para o crescimento microbiano. Além de influenciar a deterioração microbiana, a atividade de água pode ter papel significativo na atividade das enzimas e vitaminas dos alimentos, tal como na cor, no sabor e no aroma.

Em sistemas reais a atividade de água varia com a temperatura e estas variações são maiores em soluções concentradas do que em muitas soluções diluídas (LIMA & SOUSA, 2002).

Conforme com JAY (2005) a atividade de água da maioria dos alimentos frescos está acima de 0,99; alimentos com umidade intermediária (AUI) são caracterizados pelo conteúdo de umidade, em torno de 15 a 50% e por uma a_w entre 0,60 e 0,85. Referidos alimentos são estáveis em temperaturas ambientes durante períodos variáveis de tempo.

Conforme JARDIM (2004) a a_w é um fator crítico que determina a vida de prateleira de produtos alimentícios e é mais importante do que o teor de umidade. Afeta as velocidades de reação das transformações indesejáveis nos alimentos e juntamente com o pH e a composição química do alimento é o fator que determinam o tipo de deterioração microbiana que poderá se desenvolver no produto.

2.2.5 - Cinzas

De acordo com SILVA & QUEIROZ (2005) a determinação da cinza fornece apenas uma indicação da riqueza da amostra em elementos minerais. As cinzas, contêm, nos alimentos, contêm principalmente os seguintes cátions: cálcio, potássio, sódio, magnésio, ferro, cobre, cobalto e alumínio; e ânions: sulfato, cloreto, silicato, fosfato, etc. Alguns alimentos de origem vegetal são, ainda, ricos em sílica, o que resulta em teor

UFCC - BIBLIOTECA

elevado de cinza.

Segundo GOMES & OLIVEIRA (2011) as cinzas de materiais de origem tanto animal quanto vegetal constituem o ponto de partida para análise de minerais específicos. Estes minerais são analisados para fins nutricionais e de segurança, nem sempre o resíduo representa toda a substância inorgânica presente na amostra, pois alguns sais podem sofrer redução ou volatilização neste aquecimento.

De acordo com CHAVES et al. (2004) as cinzas em alimentos se referem aos resíduos inorgânicos remanescente da queima da matéria orgânica, é importante observar que a composição das cinzas corresponde à quantidade de substâncias minerais presentes nos alimentos, devido às perdas por volatilização ou mesmo pela reação entre os componentes. O teor de cinzas é considerado medida geral de qualidade e frequentemente utilizado como critério na identificação dos alimentos.

2.2.6 - Cor

Uma alimentação diversificada, colorida, equilibrada em quantidade, e qualidade é a garantia de ingestão de todos os nutrientes necessários e recomendados e dos pigmentos naturais (VOLPE et al., 2009).

A cor é um dos fatores mais importantes para a aceitação dos produtos agrícolas pelos consumidores, haja vista que apresenta correlação visual direta entre frescor e sabor (CHUA et al., 2000).

A cor, no conceito da física ótica, é um feixe de radiações luminosa com determinada distribuição espectral (cor-radiação). Os objetos transferem a luz, que chega a eles de forma que a luz transmitida tem diferente distribuição espectral (cor-material). A capacidade de um material de alterar a distribuição espectral da luz depende da sua composição química e da sua estrutura (CALVO & DURAN, 1997).

Segundo FELLOWS (2006) muitos pigmentos naturais são destruídos pelo processamento térmico e alterados quimicamente por mudanças no pH ou por oxidação durante a armazenagem. Como consequência, os alimentos processados podem perder sua coloração característica e, assim, o valor.

Vários pesquisadores vêm avaliando as alterações da cor, através de sistemas de cor por determinação instrumental para uma padronização mais efetiva deste atributo, visto que a importância tecnológica reside na possibilidade de utilizá-la como índice de transformações naturais de alimentos frescos ou de mudanças ocorridas durante o

processamento industrial (CALVO & DURAN, 1997).

2.3 - Reologia dos fluidos

Segundo GABAS et al. (2012) a reologia é definida como a ciência do escoamento e da deformação dos materiais; é uma ciência fundamental e interdisciplinar que vem ganhando importância na engenharia de processos; a reologia de produtos pode incluir o estudo das deformações e do escoamento das matérias-primas, dos produtos intermediários e finais da indústria.

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.

Segundo com BOURNE (2002) as propriedades de escoamento e deformação dos alimentos são importantes na concepção de equipamentos como bombas, tubulações, correias, dispositivos de spray, etc.; para se obter informações sobre a estrutura dos alimentos ou sobre a conformação dos seus constituintes moleculares, especialmente os constituintes macromoleculares e, ainda, para fazer medidas que ajudarão na avaliação sensorial dos atributos relacionados à textura do produto.

O conhecimento concernente ao comportamento reológico de sucos e polpas das frutas nacionais é muito importante não apenas no controle de qualidade do produto como permite o cálculo prático para situações como: projeto de misturadores, trocadores de calor, estocagem, concentração e resfriamento.

O comportamento reológico de sucos e polpas de frutas cuja composição é constituída, basicamente, de água, além da presença de variados sólidos solúveis e insolúveis, resulta da interação entre esses elementos que contribuem, de forma isolada ou potencializada, quando combinados (CABRAL et al., 2002).

O estudo das relações entre a viscosidade e as características químicas e estruturais dos sucos e polpas de frutas, tem sido utilizado, mas 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 fruta têm estruturas complexas e variáveis.

A viscosidade é uma propriedade física significativa 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 (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 na 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 por sua composição, tanto quantitativa quanto qualitativa e, por consequência, depende do tipo de fruta e dos tratamentos realizados nos processos de elaboração.

2.3.1 - 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 meis, 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) verificou estudando a viscosidade de sucos e polpas de várias frutas, 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; este 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), verificou ao estudar o suco de laranja clarificado, que este apresentou comportamento newtoniano.

2.3.2 - 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}).

2.3.2.1 - 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 desta classe são os pseudoplásticos, dilatantes e plásticos de Bingham. Os fluidos que fazem parte desta classe mais importante são os pseudoplásticos.

2.3.2.1.1 - Fluidos pseudoplásticos

Muitos alimentos, principalmente sucos de fruta, apresentam comportamento pseudoplástico.

Exemplos de fluidos pseudoplásticos: misturas ternárias de polpa de manga, suco de laranja e de cenoura (BRANCO & GASPARETTO, 2003); suco de acerola (GOMES et al., 2001); suco de manga e de abacaxi despectinizado (QUEIROZ, 1998); polpa de goiaba (CONCEIÇÃO, 2000) e suco concentrado de laranja (VITALI & RAO, 1982).

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).

HAMINIUK (2005) verificou ao avaliar o comportamento reológico da amora-preta nas temperaturas de 10 a 60 °C, verificaram que o fluido era do tipo pseudoplástico, e constatou que o aumento da temperatura provocou diminuição na viscosidade aparente.

MAGERRAMOV et al. (2007) observaram uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura e aumento da viscosidade para com o aumento da concentração de sólidos para os sucos de tangerina e limão.

2.3.2.1.2 - Fluidos dilatantes

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. (2003a), estudaram o comportamento reológico de amostras do mel de abelha urucu 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.

2.3.2.2 - Fluidos dependentes do tempo

Nos fluidos dependentes do tempo a viscosidade aparente varia tanto com a taxa de deformação quanto com o espaço de tempo de sua aplicação sendo classificados em tixotrópicos e reopéticos.

2.3.2.2.1 - Fluidos tixotrópicos

Os fluidos desse grupo apresentam comportamento reológico dependente do tempo. Fluido tixotrópico é aquele em que a viscosidade aparente diminui com o tempo para uma taxa de deformação fixa.

O cisalhamento do material separa as partículas agregadas e então ocorre uma resistência menor ao escoamento e a viscosidade decresce com o tempo até um valor constante ser alcançado (MCCLEMENTS, 1999). Exemplos desse fluido são gelatinas, cremes, manteigas e molhos para saladas, entre outros (SHARMA et al., 2000).

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

2.3.2.2.2 - Fluidos reopéticos

Nos fluidos reopéticos a viscosidade aparente aumenta com o tempo para uma taxa de deformação fixa. Existem diferentes razões para este comportamento, em que a mais importante é que o cisalhamento aumenta a frequência das colisões entre as moléculas ou partículas dos fluidos, que pode levar para um aumento de agregados e conseqüentemente um aumento na viscosidade aparente (MCCLEMENTS, 1999). Este tipo de comportamento não é comum em alimentos podendo ocorrer em soluções de amido altamente concentradas (SHARMA et al., 2000).

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

2.3.3 - Modelos reológicos

Os modelos reológicos são usados para representar a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação de um fluido; dentre os mais utilizados tem-se: o modelo da Lei da Potência, de Casson, de Herschel-Bulkley e de Mizrahi-Berk.

2.3.3.1 - Modelo da Lei da Potência ou de Ostwald-de-Waelle

O modelo de Ostwald-de-Waelle possui dois parâmetros; é um dos mais usados e é descrito conforme a Equação 2.3.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2.3)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa);

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

K - índice de consistência ($Pa s^n$);

n - índice de comportamento do fluido (adimensional).

As principais aplicações do modelo da Lei da Potência se dirigem 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 este modelo teve melhor ajuste aos dados experimentais, apresentando valores de $R^2 > 0,98$; todavia referido modelo não leva em conta a tensão inicial, apesar de se tratar de um parâmetro importante.

2.3.3.2 - Modelo de Casson

Segundo VITALI & RAO (1984) o modelo de Casson (Equação 2.4) é de uso simples e pode ser empregado para verificar a presença de tensão de cisalhamento inicial em fluidos alimentícios.

$$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0,5} \quad (2.4)$$

em que :

τ - tensão de cisalhamento ($\text{Pa}^{0,5}$);

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação ($\text{s}^{-1,0,5}$);

$K_{0C}^2 = \tau_{0C}$ - tensão de cisalhamento inicial (Pa);

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s).

RIGO et al. (2010) utilizaram o modelo de Casson para representar os dados experimentais dos reogramas da polpa de butiá na faixa de temperatura de 10 a 60 °C.

2.3.3.3 - Modelo de Herschel-Bulkley

SHARMA et al. (1996) reportaram o fato de que o modelo de Herschel-Bulkley (Equação 2.5), 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 este modelo se ajustou satisfatoriamente aos dados da relação tensão de cisalhamento versus taxa de deformação.

$$\tau = \tau_{0H} + K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2.5)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa);

- $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1});
 τ_{0H} - tensão de cisalhamento inicial (Pa);
 K_H - índice de consistência ($Pa\ s^n$);
 n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional).

2.3.3.4 - Modelo de Mizrahi-Berk

O modelo de Mizrahi-Berk (Equação 2.6) é um dos modelos reológicos mais usados para determinação do comportamento reológico de vários fluidos alimentícios, sobretudo suco e polpa de frutas.

em que:

$$\tau^{0.5} = K_{0M} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (2.6)$$

- τ - tensão de cisalhamento (Pa);
 $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1});
 K_{0M} - raiz quadrada da tensão inicial (Pa);
 K_M - índice de consistência ($Pa\ s^n$);
 n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional);

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 a tensão de cisalhamento e a 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 melhor para polpas com alto conteúdo de sólidos insolúveis; constataram, ainda, que a presença de partículas suspensas exerceu grande influência sobre a viscosidade das polpas.



2.4 - Propriedades termofísicas

O dimensionamento dos equipamentos utilizados no processamento de alimentos, principalmente os pasteurizadores e outros que requerem bombeamento do produto, exige dados precisos das propriedades térmicas dos produtos, tais como condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico e de como essas propriedades se comportam durante o processo em função da temperatura (MOURA et al., 2003).

2.4.1 - Massa específica

A massa específica é definida como a relação entre a massa e o volume de uma substância, em temperatura constante (Equação 2.7).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.7)$$

em que:

ρ - massa específica (kg/m³);

m - massa (kg);

v - volume (m³).

DANTAS JÚNIOR et al. (2007) verificaram que a massa específica da polpa de manga espada, determinada nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, diminui com o aumento da temperatura.

Existe, na literatura, uma grande quantidade de equações para a estimativa da massa específica de alimentos em função da temperatura, concentração, umidade e outros parâmetros (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Equações para estimar a massa específica de sucos e polpa de frutas

Produto	Referência	Equação
Alimentos em geral	CHOI&OKOS (1986)	$\rho = 1098 + 4,26X_s - 0,349(T + 273)$
Sucos de frutas em geral	ALVARADO & ROMERO (1989)	$\rho = 1002 + 4,61B - 0,460T + 7,001 \times 10^{-3}T^2 - 9,175 \times 10^{-5}T^3$

em que: ρ - massa específica (kg/m³); X_s - fração mássica dos sólidos (adimensional); B - Sólidos solúveis totais (°Brix); T - temperatura (°C).

2.4.2 - Calor específico

O calor específico é definido como a quantidade de energia necessária para elevar, em um grau de temperatura, uma unidade de massa de uma substância; e também calor específico é a quantidade de calor que ganha ou perde um quilograma de alimento para produzir uma mudança de temperatura requerida, escrita na forma da Equação 2.8.

$$C_p = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (2.8)$$

em que:

C_p – calor específico (kJ/kg °C);

Q – quantidade de calor (kJ);

m – massa (kg);

ΔT – variação de temperatura (°C).

MUNIZ et al. (2006) verificaram para a polpa de bacuri que o calor específico das amostras diminui com o aumento da concentração, com o menor valor determinado para as amostras a 20 °Brix e o maior na amostra a 5 °Brix, refletindo o maior valor desta propriedade para a amostra com maior fração de água.

Existem na literatura diversas equações para estimativa do calor específico, dentre elas, se tem a equação de Siebel (Equação 2.9), a de Dickerson (Equação 2.10), e a de Lamb (Equação 2.11).

$$C_p = (0,837 + 3,349 \cdot X_w) \quad (2.9)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

$$C_p = 1,675 + 2,512X_w \quad (2.10)$$

em que:

C_p – calor específico (kJ/kg°C)

X_w – fração mássica da água (adimensional)

$$C_p = 1,465 + 2,721X_w \quad (2.11)$$

em que:

C_p – calor específico (KJ/Kg°C);

X_w – fração mássica da água (adimensional).

2.4.3 - Condutividade térmica

A condutividade térmica de um material é a medida da capacidade para conduzir calor.

Segundo PARK et al. (2007) a condutividade térmica é uma propriedade termofísica do material, que descreve a taxa na qual o fluxo de calor passa através do mesmo sob a influência de uma diferença de temperatura. O calor é transmitido, no corpo sólido, pela transferência física de elétrons livres e pela vibração de átomos e moléculas e cessa quando a temperatura for, em todos os pontos do corpo, igual à temperatura do meio em que se encontra, isto é, atinge o equilíbrio térmico.

De acordo com FELLOWS (2006) nos alimentos a condutividade térmica depende de uma série de fatores relacionados com a natureza do alimento (estrutura da célula, quantidade de ar preso entre as células e teor de umidade) e com a temperatura e pressão do ambiente.

A equação fundamental da transferência de calor ou lei de Fourier para regime permanente, unidirecional, que descreve a condução térmica, é dada pela Equação 2.12.



$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.12)$$

em que:

q – massa específica de fluxo de calor (kJ/s);

k – condutividade térmica (W/m°C);

dT/dx – gradiente de temperatura (°C/m).

LIMA et al. (2003) observaram que a condutividade térmica da polpa de umbu mostrou-se inversamente proporcional ao teor de sólidos solúveis (°Brix), diminuindo com o aumento da concentração. SOUZA et al. (2010) verificaram aumento da condutividade térmica da polpa de umbu com a redução do teor de umidade e com o aumento da temperatura entre 25 e 85°C.

Existem diversos modelos na literatura para prever a condutividade térmica de alimentos em função da fração mássica da água, e do teor de sólidos solúveis totais entre outros parâmetros.

A Equação 2.13 apresentada por Kolarov & Gromov citados por SWEAT (1994) foi desenvolvida para suco de frutas.

$$K = 0,140 + 0,42X_w \quad (2.13)$$

em que:

K – condutividade térmica (W/m°C);

X_w – fração mássica da água (adimensional).

2.4.4 - Difusividade térmica

A difusividade térmica é definida como a relação entre a condutividade térmica e o calor específico do produto multiplicado por sua massa específica (Equação 2.14).

A difusividade térmica também pode ser descrita como a relação entre a capacidade de transferir calor e a capacidade de armazenar calor.

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (2.14)$$

em que:

α – difusividade térmica (m^2/s);

k – condutividade térmica ($W/m\ ^\circ C$);

ρ – massa específica (kg / m^3);

C_p – calor específico ($kJ/kg\ ^\circ C$).

ARAÚJO et al. (2004) determinaram a difusividade térmica de polpas de cupuaçu verificando valores variando entre $1,27 \times 10^{-7}$ a $1,32 \times 10^{-7} m^2/s$.

São inúmeros modelos na literatura para prever a difusividade térmica de alimentos em função da fração mássica da água e da temperatura, entre outros parâmetros dentre eles se tem o modelo de Riedel (Equação 2.15) e de Martens (Equação 2.16).

$$\alpha = 0,088 \times 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \times 10^{-6}) X_w \quad (2.15)$$

em que:

α - difusividade térmica (m^2/s);

α_w – difusividade térmica da água (m^2/s);

X_w – fração mássica da água (adimensional).

$$\alpha = [0,057363 X_w + 0,000288(T + 273)] \times 10^{-6} \quad (2.16)$$

em que:

α - difusividade térmica (m^2/s);

X_w – fração mássica da água (adimensional);

T – temperatura ($^\circ C$).

3 – MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em Campina Grande, Paraíba, e no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

3.1 - Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi goiaba cv. Paluma produzida em Petrolina – PE, numa propriedade comercial com as coordenadas: latitude 9°21'18" sul e longitude 40° 30' 14,33" oeste (Fonte: Google Earth), safra de agosto de 2010.

3.2 - Processamento dos frutos

O fluxograma para obtenção da polpa de goiaba está representado na Figura 3.1.

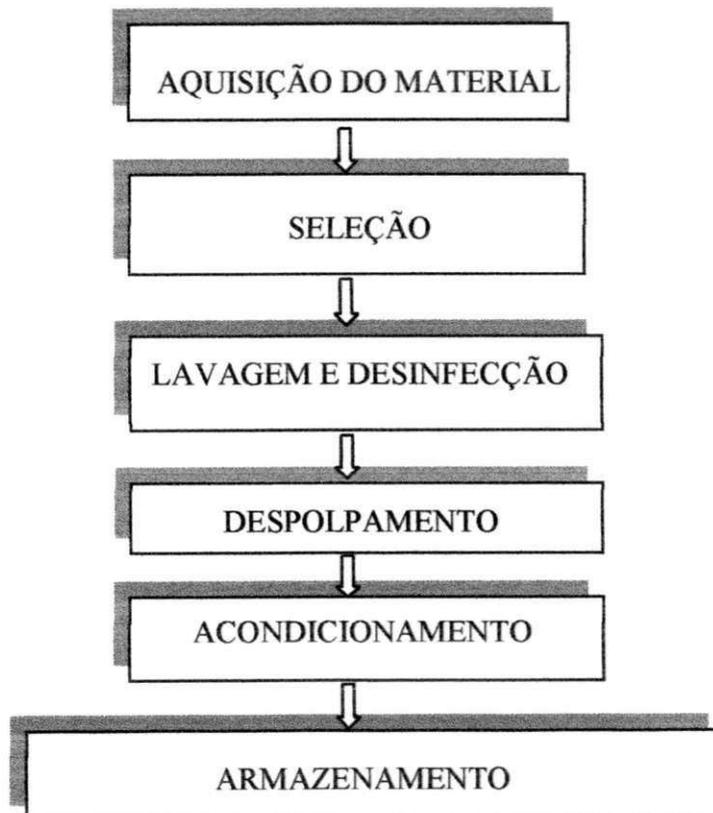


Figura 3.1 - Fluxograma com as etapas do processamento das goiabas

3.2.1 - Seleção

A seleção do material foi feita manualmente, dando-se preferência aos frutos sem danos visíveis, com boa aparência, em estágio de maturação maduro e uniformidade em todo o lote.

3.2.2 - Lavagem e desinfecção

Após a pesagem dos frutos foram retirados os restos de talo e os restos da floração, para retirada de impurezas; em seguida, foi feita uma lavagem dos frutos por imersão em solução de hipoclorito de sódio a uma concentração de 20 ppm, sendo depois retirado o excesso com água corrente.

3.2.3 - Despulpamento

Após a lavagem e desinfecção os frutos foram despulpados em despulpadeira do tipo contínuo.

3.2.4 - Acondicionamento

A polpa integral foi acondicionada em embalagens de polietileno de baixa densidade com capacidade de 1000 gramas.

3.2.5 - Armazenamento

As polpas embaladas foram congeladas e armazenadas em freezer a -20 °C.

3.3 - Caracterização química, física e físico-química

A polpa integral e as polpas concentradas foram caracterizadas quanto ao pH, cinzas, sólidos solúveis totais (° Brix), sólidos totais, umidade, atividade de água e cor.

3.3.1 - pH

O pH das polpas foi quantificado através da leitura direta do pH em peagômetro Analyser modelo pH 300M.

3.3.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais foram determinados através de leitura em refratômetro, em graus Brix.

3.3.3 - Sólidos totais/umidade

Os sólidos totais/umidade foram determinados através da metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), em que os resultados foram expressos em p/p.

3.3.4 - Cinzas

Foram determinadas em mufla a 550 °C. Este método é fundamentado na perda de peso, que ocorre quando o produto é incinerado a 550 °C, com destruição da matéria orgânica (BRASIL, 2005).

3.3.5 - Atividade de água (a_w)

A atividade de água foi determinada a 20 °C, através do equipamento Aqua-Lab 3TE, fabricado pela Decagon Devices Inc..

3.3.6 - Cor

A análise de cor foi realizada em triplicata, em espectrofotômetro portátil Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L, no sistema de cor L^* , a^* e b^* , em que L^* é a luminosidade, a^* a transição da cor verde ($-a^*$) para a cor vermelha ($+a^*$) e b^* a transição da cor azul ($-b^*$) para a cor amarela ($+b^*$). As leituras foram feitas com luminosidade D65, ângulo de observação de 10° e calibração com placa branca.

3.4 - Preparo das amostras

A partir da polpa integral (8 °Brix) foram elaboradas polpas de goiaba concentradas, até a obtenção dos teores de sólidos solúveis totais de 10 e 12 °Brix. A concentração das amostras foi realizada em evaporador rotativo a vácuo marca Quimis a 50 °C.

3.5 - Propriedades termofísicas

Foram determinadas, nas polpas de goiaba (integral e concentradas) as propriedades termofísicas: calor específico, massa específica, difusividade térmica e condutividade térmica.

3.5.1 - Calor específico

O calor específico experimental foi determinado utilizando-se o método das misturas. Para esta determinação foi usado um calorímetro elaborado a partir de um frasco Dewar, que consiste em uma garrafa térmica com capacidade para 1.000 mL, envolvida em camada de 5 cm de isolante térmico (lã de vidro), inserida em uma carcaça de PVC. A garrafa é fechada com rolha de borracha dotada de furo por onde é introduzida uma haste de termopar, com a finalidade de aferir a temperatura interna.

Inicialmente foi realizada a pesagem do calorímetro seco; em seguida foi determinada a capacidade calorífica do calorímetro, pesando-se uma massa de água (m_1) em temperatura ambiente (T_1) e anotados os valores; logo após, foi adicionada uma massa de água resfriada (m_2) com uma temperatura (T_2), agitou-se lentamente o calorímetro e se registrou a temperatura T_3 no equilíbrio; para determinar a capacidade calorífica do calorímetro foi utilizado o balanço de calor da Equação 3.1.

$$C_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{cal} (T_1 - T_3) = C_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (3.1)$$

em que:

C_{cal} – capacidade calorífica do calorímetro (kJ/K);

C_1 - calor específico da água à temperatura ambiente (kJ/kg.K);

- C_2 - calor específico da água resfriada (kJ/kg.K);
 m_1 - massa de água em temperatura ambiente (kg);
 m_2 - massa de água refrigerada (kg);
 T_1 - temperatura da água ambiente (K);
 T_2 - temperatura da água resfriada (K);
 T_3 - temperatura de equilíbrio (K);

Posteriormente, determinou-se o calor específico das polpas de goiaba. Para tal, foi colocados no calorímetro, 100 g de água (m_1) em temperatura ambiente (T_1), uma massa de água resfriada (m_2) com uma temperatura (T_2); lentamente agitou-se o calorímetro e se registrou a temperatura T_3 no equilíbrio; adicionou-se uma massa de amostra (m_p) de aproximadamente 100 g a uma temperatura T_4 ; o calorímetro foi agitado lentamente até atingir a temperatura de equilíbrio (T_5). Na determinação do calor específico do produto foi utilizada a Equação 3.2:

$$m_p C_p (T_4 - T_5) = C_1 m_3 (T_5 - T_3) + C_{cal} (T_5 - T_3) \quad (3.2)$$

em que:

- m_p - massa do produto (kg)
 C_p - calor específico do produto (kJ/kg K)
 C_1 - calor específico da água (kJ/kg K)
 m_3 - soma das massas m_1 e m_2
 T_4 - temperatura inicial do produto (K)
 T_5 - temperatura de equilíbrio (K).

Além das determinações experimentais, foi determinado o calor específico teórico, utilizando-se as equações de Dickerson e Mohsenin, propostas na literatura (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Equações utilizadas para o cálculo teórico do calor específico das polpas de goiaba

Produto	Equação	Fonte
Sucos de frutas	$C_p = 1,675 + 2,512X_w$	DICKERSON (1968)
Geral (MOHSENIN, 1980)	$C_p = 0,837 + 3,349X_w$	MOHSENIN (1982)

em que: C_p – calor específico (kJ/kg°C); X_w – fração mássica da água (adimensional)

3.5.2 - Massa específica

A massa específica foi determinada em picnômetro de vidro nas temperaturas de 10, 20, 25, 30, 40 e 50 °C, em triplicata.

O picnômetro, previamente secado e tarado, era pesado com água destilada nas diferentes temperaturas, determinando-se, assim, sendo assim determinado o seu volume. Era então preenchido com a amostra e colocado em banho termostático, até atingir a temperatura desejada, sendo pesado em seguida, as massas específicas foram obtidas pela razão entre a massa da amostra na temperatura determinada e o volume do picnômetro na mesma temperatura.

Para determinação das massas específicas teóricas foram utilizadas as equações de Choi & Okos e de Alvarado & Romero, propostas em literatura e apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Equações utilizadas no cálculo teórico da massa específica das polpas de goiaba

Produto	Equação	Referência
Alimentos em geral	$\rho = 1098 + 4,26X_s - 0,349(T + 273)$	CHOI & OKOS (1986)
Sucos de frutas em geral	$\rho = 1002 + 4,61B - 0,460T + 7,001 \times 10^{-3}T^2 - 9,175 \times 10^{-5}T^3$	ALVARADO & ROMERO (1989)

em que: ρ - massa específica (kg/m³); X_s - fração mássica dos sólidos (adimensional); T - temperatura (°C); B - Sólidos solúveis totais (°Brix)

3.5.3 - Difusividade térmica

As difusividades térmicas das polpas de goiaba foram determinadas em triplicata, de acordo com a metodologia proposta por DICKERSON (1965). Utilizou-se um cilíndrico metálico com 2,45 cm de raio interno e 23,0 cm de comprimento interno útil, com rolhas de nylon nas extremidades para vedação. O cilindro possui dois termopares, um soldado na superfície externa e o outro inserido através do centro de uma das rolhas, de modo a medir a temperatura no centro radial e em posição equidistante das extremidades. O cilindro foi preenchido com as polpas adicionadas de ágar para evitar a convecção natural; a seguir mergulhou-se o aparato em um banho termostático o qual foi aquecido desde a temperatura ambiente, em torno de 25 °C, até 60 °C, registrando-se as temperaturas na superfície e no centro do cilindro, em intervalos de 2 minutos.

Para os cálculos da difusividade térmica das polpas foi utilizada a Equação 3.3.

$$\alpha = \frac{AR^2}{4(T_s - T_c)} \quad (3.3)$$

em que:

α – difusividade térmica (m²/s);

A – taxa constante de aquecimento (°C/s);

R – raio do cilindro (m);

T_s – temperatura na superfície do cilindro de raio R (°C);

T_c – temperatura no centro do cilindro (°C).

Para se obter o valor da taxa de aquecimento (A) foram utilizados os dados de temperatura na superfície do cilindro (T_s) versus tempo, construído com os dados experimentais por meio através do coeficiente angular da reta; os valores de T_s e T_c foram obtidos quando as curvas (T_s) e (T_c) se tornaram paralelas entre si, o que acontece quando:

$$[(T_s - T_c)_i - (T_s - T_c)_{i+1}] \leq 0,1 \text{ °C} \quad (3.4)$$



Para o cálculo teórico das difusividades térmicas foram utilizadas as equações Riedel e Martens, apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Equações utilizadas no cálculo teórico da difusividade térmica das polpas de goiaba

Produto	Equação	Referência
Alimentos em geral	$\alpha = 0,088 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \cdot 10^{-6})X_w$	RIEDEL (1969)
Alimentos em geral	$\alpha = [0,057363X_w + 0,000288(T + 273)] \times 10^{-6}$	Martens citado por SINGH (2007)

α - difusividade térmica (m^2/s); T - temperatura ($^{\circ}C$); α_w - difusividade térmica da água (m^2/s); X_w - fração mássica da água (adimensional).

3.5.4 - Condutividade térmica

As condutividades térmicas das polpas foram determinadas através da relação entre a difusividade térmica (α), do calor específico (C_p) e da massa específica (ρ), expressas conforme a Equação 3.5:

$$k = \alpha \rho C_p \quad (3.5)$$

em que:

k - condutividade térmica (W/m K)

α - difusividade térmica (m^2/s)

ρ - massa específica (kg/m^3)

C_p - calor específico (KJ/kg K)

Para estimativa das condutividades térmicas teóricas das polpas de goiaba foram utilizadas as equações de Kolarov & Gromov e de Choi & Okos propostas em literatura, apresentadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Equações utilizadas no cálculo teórico das condutividades térmicas das polpas de goiaba

Produto	Fórmula	Referência
Suco de frutas	$k = 0,140 + 0,42X_w$	Kolarov & Gromov citado por SWEAT (1994)
Materiais biológicos	$k = 0,056 + 0,57X_w$	CHOI & OKOS (1986)

k - condutividade térmica (W/m °C); X_w - fração mássica da água (decimal)

3.5.5 - Erro percentual

Para determinar o erro entre as determinações experimentais das propriedades termofísicas e os valores obtidos por meio de equações propostas em literatura foi utilizada a Equação 3.6.

$$E = \left| \frac{V_{cal} - V_{exp}}{V_{exp}} \right| \times 100 \quad (3.6)$$

em que:

V_{exp} – valor experimental

V_{cal} – valor calculado

3.5.6 - Análise estatística

Na análise estatística dos dados das propriedades termofísicas usou-se o programa ASSISTAT, versão 6.7 Beta os dados de calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica, foram avaliados utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado, e os dados de massa específica foram avaliados segundo o esquema fatorial 3x5x4 (3 concentrações, 5 temperaturas e 4 repetições).

3.6 - Reologia

As medidas reológicas foram realizadas em viscosímetro da marca Brookfield, modelo DV-II + Pro, fabricado pela Brookfield Engineering Laboratories; as medidas foram efetuadas nas amostras em béquer de 600 mL nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C. As leituras do torque foram feitas após decorrido um tempo de cisalhamento fixo pré-determinado, para evitar interferências de efeitos reológicos dependentes do tempo.

Para a obtenção das temperaturas de trabalho foi utilizado um banho externo com circulação forçada de água; as amostras foram mergulhadas no banho até atingirem a temperatura de equilíbrio, tendo-se realizado, a seguir realizadas as leituras em triplicata, em escala ascendente de velocidade de rotação.

3.6.1 - Conversão dos dados experimentais

Os dados de velocidade de rotação, viscosidade aparente e torque, obtidos no viscosímetro, foram usados para obtenção dos dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação, conforme metodologia proposta por MITSCHKA (1982).

3.6.2 - Modelos reológicos

Com os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação foram construídos os reogramas. A seguir ajustou-se os modelos reológicos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) (Equação 3.7) e de Herschel-Bulkley (Equação 3.8), Casson (Equação 3.9) e Mizrahi & Berk (Equação 3.10) foram ajustados aos reogramas, utilizando-se o programa STATISTICA, através de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Para a determinação do melhor ajuste foram analisados os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P) (Equação 3.11).

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (3.7)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa);

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



K - índice de consistência (Pa s^n);

n - índice de comportamento do fluido (adimensional).

$$\tau = \tau_{0H} + K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3.8)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

τ_{0H} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_H - índice de consistência (Pa s^n)

n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional)

$$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0,5} \quad (3.9)$$

em que :

τ - tensão de cisalhamento ($\text{Pa}^{0,5}$)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s^{-1})^{0,5}

$K_{0C}^2 = \tau_{0C}$ - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s)

$$\tau^{0,5} = K_{0M} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (3.10)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)^{0,5}

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

K_{0M} - raiz quadrada da tensão inicial (Pa)

K_M - índice de consistência (Pa s^n)

n_M - índice de comportamento do fluido (adimensional)

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{\text{exp}} - X_{\text{teor}})|}{X_{\text{exp}}} \quad (3.11)$$

em que:

- P - desvio percentual médio (%)
- X_{exp} - valores obtidos experimentalmente
- X_{teor} - valores preditos pelo modelo
- n - número de dados experimentais

3.6.3 - Influência da temperatura

A equação do tipo Arrhenius (Equação 3.12) foi utilizada para avaliar a influência da temperatura sobre a viscosidade aparente; as temperaturas em graus Celsius foram transformadas para Kelvin e, em seguida, calculados; os valores da viscosidade aparente em função do inverso da temperatura foram graficados para cada velocidade de rotação utilizando-se o programa Origin Pro; a partir da regressão linear destes dados calculou-se a energia de ativação.

$$\eta = \eta_0 \exp \left[-\frac{E_a}{RT} \right] \quad (3.12)$$

em que:

- η - viscosidade aparente (Pas)
- η_0 - viscosidade aparente inicial (Pa s)
- E_a - energia de ativação (KJ/g mol)
- R - constante universal dos gases (KJ/mol K)
- T - temperatura (K)

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Caracterização química, física e físico-química

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores dos parâmetros da caracterização química, física e físico-química das polpas de goiaba, nas concentrações de 8 °Brix (polpa integral), 10 °Brix (polpa concentrada) e 12 °Brix (polpa concentrada). Nas Tabelas A.1 a A.7 do Apêndice A, são apresentadas as análises de variância desses parâmetros; constata-se que houve efeito significativo da concentração a 1% de probabilidade pelo teste F, para os parâmetros cinzas e sólidos totais, umidade, luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de amarelo,.

Tabela 4.1 – Valores médios dos parâmetros da caracterização química, física e físico-química das polpas de goiaba com 8, 10 e 12 °Brix

Parâmetro	Polpa 8 °Brix	Polpa 10 °Brix	Polpa 12 °Brix	Média geral	DMS	CV (%)
pH	3,83	3,72	3,81	3,79	-	-
Cinzas (%)	0,4133 b	0,5333 a	0,6367 a	0,5278	0,1175	8,88
Sólidos totais (%)	12,6976 b	16,0762 a	17,3598 a	15,3779	1,4686	3,81
Umidade (% b.u)	87,3024 a	83,9238 b	82,6380 b	84,6214	1,4641	0,69
Atividade de água	0,993 a	0,996 a	0,988 a	0,992	0,013	0,51
Luminosidade (L*)	48,51 b	50,63 a	48,34 b	49,16	0,32	0,43
Intensidade de vermelho (+a*)	20,68 c	23,68 a	23,01 b	22,46	0,41	1,21
Intensidade de amarelo (+ b*)	20,87 b	22,54 a	20,08 c	21,16	0,56	1,77

As médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – desvio mínimo significativo; CV – coeficiente de variação.

Com base nos valores do pH das amostras com 8, 10 e 12 °Brix, constata-se que, nessas concentrações, as polpas de goiaba nessas concentrações são classificadas segundo BARUFFALDI & OLIVEIRA (1998) como alimentos ácidos, pH entre 3,7 e 4,5. Conforme CONCEIÇÃO (2000) a polpa de goiaba possui pH de 3,89, sendo próximo ao pH das amostras do presente estudo, o pH das polpas está dentro da faixa de valores determinada por EVANGELISTA & VIEITES (2006) e para polpas de goiaba congeladas o

mesmo variou entre 3,5 e 4,5; os valores de pH variaram de 3,72 a 3,83 e estão dentro do limite citado por YUSOF (1990) para diversas variedades de goiaba.

O teor de cinzas ou resíduo mineral das polpas resultou como média geral, em 0,5278%, sendo próximo ao valor encontrado por PEREIRA et al. (2003b) de $0,54 \pm 0,03\%$ para a goiaba Paluma.

Os valores dos sólidos totais apresentaram tendência de aumento com o aumento da concentração, identificando-se aumentos no teor de sólidos pela diminuição da umidade do produto. Os teores de sólidos totais aumentaram de 26,6% entre as concentrações de 8 °Brix para 10 °Brix. Constata-se haver diferença significativa entre a polpa com 8 °Brix e as demais, porém as médias são estatisticamente iguais entre as polpas com 10 e 12 °Brix. Segundo GONÇALVES et al. (2000), pêras 'Nijisseiki' apresentaram maior concentração de sólidos solúveis totais, em virtude da desidratação dos frutos, ocorrendo, conseqüentemente, maior concentração de açúcares e ácidos orgânicos. Segundo JERONIMO & KANESIRO (2000), o aumento de sólidos solúveis totais pode também pode ser decorrente da transformação das reservas acumuladas durante a formação e o desenvolvimento desses sólidos, em açúcares solúveis.

Os teores de umidade apresentaram tendência de redução com o aumento da concentração, confirmando a maior umidade na amostra com 8 °Brix, conforme esperado, seguida das concentrações crescentes. Verifica-se que as médias das amostras com 10 e 12 °Brix foram estatisticamente iguais. SALGADO et al. (1999) ao avaliar os efeitos do processo utilizado na obtenção de polpa de frutas congelada, com relação ao pH e °Brix da polpa congelada de goiaba, valores próximos aos do presente trabalho, que foram de 4,04 e 8,83, respectivamente; já com relação à umidade apresentaram valor superior ao relatado neste trabalho, que foi de 88,20.

As atividades de água nas três concentrações não diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, demonstrando pequena variação entre as médias. VIANA (2010) determinou estudando a polpa do cupuaçu integral, o valor de $0,989 \pm 0,001$ para atividade de água, sendo próximo ao das polpas de goiaba. As polpas de goiaba podem ser classificadas, de acordo com AZEREDO et al. (2004) como alimentos de alta umidade ($a_w > 0,85$) visto serem são muito propensas a deteriorações microbiológicas, em geral.

Observa-se aumento de 4,4% na luminosidade da concentração de 10 °Brix quando comparada com a concentração de 8 °Brix, refletindo-se esta variação em diferença estatística entre as amostras; entre as amostras a 10 °Brix e 12 °Brix, observa-se diminuição de 2,1% nos valores médios de luminosidade, não se identificando, portanto, relação entre a luminosidade e a concentração; a coloração é, frequentemente, um dos atributos de qualidade mais atrativos para o consumidor e o impacto visual, causado pela coloração, é fator predominante na preferência do consumidor (BRUNINI et al., 2003).

Os valores que representam a intensidade de vermelho (+a*) diferem estatisticamente entre todas as concentrações; ocorre um aumento da intensidade de vermelho de 8 °Brix para 10 °Brix totalizando 14,5% mas se observa diminuição entre as concentrações de 10 °Brix e 12 °Brix, totalizando 2,8%, não se configurando relação entre concentração e intensidade de vermelho nos teores estudados.

O valor de intensidade de amarelo (+b*) aumentou 8% com o aumento da concentração da polpa entre 8 °Brix e 10 °Brix e se reduz em 10,9% entre as concentrações de 10 °Brix e 12 °Brix. Desta forma, repete-se o observado nos demais parâmetros de cor, não se identificando relação entre intensidade de amarelo e o grau de concentração das amostras.

4.2 - Comportamento reológico

4.2.1 - Modelos reológicos

Na Tabela 4.2 são apresentados os parâmetros de ajuste aos dados experimentais de tensão de cisalhamento e a taxa de deformação pelos modelos reológicos Lei da Potencia, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk da polpa de goiaba com 8 °Brix nas temperaturas de 10 a 50 °C.

Para o modelo da Lei da Potência observa-se que os valores do índice de consistência (K) são maiores nas temperaturas mais baixas. FERREIRA et al. (2002), também verificaram trabalhando com polpa de cajá, também verificaram que o aumento de temperatura contribui para diminuição do índice de consistência. ADORNO (1997) descreveu estudando suco de mamão nas concentrações de 10 a 40 °Brix um comportamento idêntico para K, que diminuiu com o aumento da temperatura nas concentrações de 10 e 15 °Brix e aumentou com o aumento de sólidos solúveis.

Tabela 4.2 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvio percentual médio (%) dos modelos reológicos Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk, para a polpa de goiaba com 8 °Brix

Modelos	Temp. (°C)	Parâmetros			R^2	P (%)
		K	n			
Lei da Potência	10	67181,3955	0,1634		0,9840	1,70
	20	61216,1692	0,1338		0,8799	3,71
	30	57813,7564	0,1519		0,8712	5,36
	40	47713,8686	0,2249		0,9431	5,47
	50	42750,1853	0,2531		0,9873	2,75
Casson	Temp. (°C)	K_{OC}	Kc		R^2	P (%)
	10	295,2620	7,8325		0,9009	2,04
	20	276,7944	5,6280		0,7417	2,77
	30	270,5235	6,6991		0,7027	4,07
	40	245,4220	12,2011		0,8339	4,55
50	234,7410	13,7240		0,9094	3,50	
Herschel-Bulkley	Temp. (°C)	τ_{OH}	K_H	n_H	R^2	P (%)
	10	-628157,2558	681403,5889	0,0269	0,9913	1,28
	20	-3066829,2283	3116240,6355	0,0045	0,9079	3,26
	30	-9743068,7870	9784662,4055	0,0017	0,9203	4,31
	40	-3530496,9077	3553713,5453	0,0067	0,9785	2,90
50	-330198,7476	353196,9385	0,0604	0,9986	0,56	
Mizrahi & Berk	Temp. (°C)	K_{OH}	K_M	n	R^2	P (%)
	10	-6304,6051	6548,1317	0,0044	0,9883	0,71
	20	-21181,2908	21413,7753	0,0011	0,8884	1,79
	30	-6068,8867	6288,0802	0,0042	0,8967	2,48
	40	-3261,0604	3451,1031	0,0109	0,9684	1,96
50	-1842,5524	2024,4501	0,0193	0,9956	0,73	

UFCC - BIBLIOTECA

O índice de comportamento do fluido (n) apresentou tendência de aumento com o aquecimento, variando mais de 50% entre 10 e 50 °C. SILVA (1999) também constatou em acerola também constatou diminuição nos valores de n com o aumento da temperatura.

O índice de comportamento do fluido menor que 1 caracteriza o fluido como não newtoniano e pseudoplástico e, segundo NAVARRO (1997), quanto mais distante o índice de comportamento de um fluido estiver da unidade, mais distante também estará o fluido do comportamento Newtoniano. Os coeficientes de determinação (R^2) resultaram em valores acima de 0,86 e os desvios percentuais médios (P) se mantiveram abaixo de 6%, configurando ajustes razoáveis.

No modelo de Casson se observa-se redução progressiva no parâmetro K_{OC} com o aquecimento enquanto o coeficiente de viscosidade plástica (K_c) aumentou entre as temperaturas de 20 até 50 °C; o coeficiente de determinação (R^2) resultou em valores razoáveis apenas nas temperaturas de 10, 40 e 50 °C. os desvios percentuais médios variaram de 2,04 a 4,55%, abaixo portanto de 10%, configurando bons resultados. GRANGEIRO (2004), citou estudando o comportamento reológico da polpa do figo da índia, diminuição dos valores do parâmetro K_{OC} com o aumento da temperatura, e aumento desses valores com a elevação da concentração.

Para o modelo de Herschel-Bulkley não se observam tendências de aumento sem redução no parâmetro K_H com a temperatura. Inversamente CONCEIÇÃO (2000) e VIDAL (2000), descreveram comportamento de redução com o aquecimento quando trabalharam com polpa de goiaba com pectinase e polpa de manga despectinizada, respectivamente. O índice de comportamento do fluido n_H apresentou comportamento irregular com valores predominantemente maiores nas temperaturas extremas, 10 e 50 °C. O coeficiente de determinação (R^2) apresentou-se com valores razoáveis, acima de 0,90, e os desvios percentuais médios (P) se mantiveram abaixo de 10%, configurando bons ajustes.

No modelo de Mizrahi-&-Berk não se observam tendências de redução sem aumento nos índice K_M e n_M com o aumento de temperatura. Os parâmetros R^2 e P variaram acima de 0,88 e abaixo 3%, respectivamente, configurando ajustes aceitáveis.

Constata-se que os maiores R^2 foram obtidos com o modelo de Herschel-Bulkley.

Na Figura 4.1 são apresentados os dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para os dados reométricos da amostra de polpa a 8° Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley.

Observa-se efeito da temperatura entre as curvas, demonstrando proximidade entre elas. Os valores de tensão de cisalhamento apresentam tendência de redução com o aumento da temperatura. CONCEIÇÃO (2000) descreve este mesmo comportamento para a polpa de goiaba tratada com pectinase.

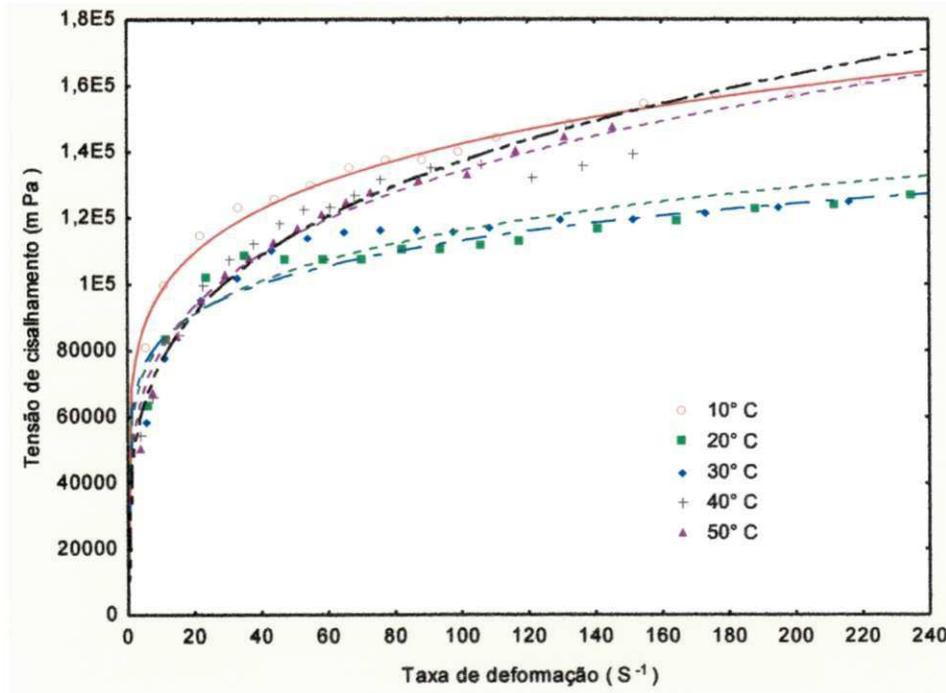


Figura 4.1 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da amostra a 8 °Brix, com ajustes pelo modelo de Herschel-Bulkley

Na Tabela 4.3 se apresentam os parâmetros de ajuste aos dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação, pelos modelos reológicos Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk da polpa de goiaba a 10° Brix nas temperaturas de 10 a 50 °C.

Para o modelo da Lei da Potência observa-se um comportamento irregular do índice de consistência (K) com o aquecimento, tendo-se valores mais altos nas temperaturas intermediárias. CABRAL (2001), também descreveu, estudando o comportamento reológico da polpa do cupuaçu que o aumento da temperatura provocou a diminuição do índice de consistência.

Tabela 4.3 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvio percentual médio (%) dos modelos reológicos Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk, para a polpa de goiaba a 10° Brix

Modelos	Temp. (°C)	Parâmetros			R^2	P (%)
		K	n			
Lei da Potência	10	36388,8697	0,3224		0,9363	0,89
	20	56645,5208	0,2116		0,9825	1,80
	30	54594,3586	0,2219		0,9632	3,61
	40	71483,3124	0,1655		0,7237	4,57
	50	48824,7354	0,2451		0,9581	5,00
Casson	Temp. (°C)	K_{OC}	K_C		R^2	P (%)
	10	293,7102	12,7372		0,9457	2,08
	20	271,6871	11,4225		0,9104	2,63
	30	269,2506	11,6622		0,8552	3,61
	40	266,0183	11,2966		0,8161	4,10
Herschel-Bulkley	Temp. (°C)	τ_{OH}	K_H	n_H	R^2	P (%)
	10	-37404,2456	98279,5095	0,1705	0,9976	0,83
	20	-394988,9729	435725,3267	0,0482	0,9947	1,33
	30	-4123426,8177	4156753,8341	0,0060	0,9928	1,59
	40	-9470579,8835	9502724,6258	0,0025	0,9924	2,36
Mizrahi & Berk	Temp. (°C)	K_{OH}	K_M	n	R^2	P (%)
	10	-455,5750	700,8420	0,0488	0,9971	0,44
	20	-20258,4552	20476,1969	0,0018	0,9922	0,70
	30	-18749,8157	18962,4629	0,0020	0,9798	1,34
	40	-38428,8891	38637,4372	0,0010	0,9657	1,75
50	-7820,2746	8007,6557	0,0054	0,9811	1,62	

O índice de comportamento do fluido (n) também apresentou comportamento sem tendência definida em relação à temperatura, com menores valores nas temperaturas intermediárias. Os coeficientes de determinação (R^2) resultaram em valores acima de 0,72 e os desvios percentuais médios (P) se mantiveram abaixo de 10%, configurando ajustes razoáveis. Contrariamente, SILVA (1999), citou trabalhando com suco de acerola, que o valor do índice de comportamento aumentou com o aumento da temperatura.

No modelo de Casson tem-se reduções no parâmetro K_{OC} com o aquecimento, enquanto o coeficiente de viscosidade plástica (K_C) não apresentou influência da temperatura; os desvios percentuais médios abaixo de 5% podem ser considerados bons, porém superados por outros modelos.

Para o modelo de Herschel-Bulkley não ocorrem aumentos ou reduções no parâmetro K_H relacionados à temperatura. O valor do índice n_H apresentou reduções entre as temperaturas mais baixas e mais elevadas; os índices de ajuste, coeficiente de determinação e P , acima de 0,98 e abaixo de 3% configuram ótimos ajustes.

No modelo de Mizrahi-Berk, tal como nas amostras com 8 °Brix, não se observam tendências de redução ou aumento nos índice K_M e n_M com o aumento de temperatura; os parâmetros R^2 e P variaram acima de 0,96 e abaixo 2%, respectivamente, configurando bons ajustes. Observa-se que os valores do índice de comportamento do fluido (n_M) para a polpa de goiaba estão abaixo da unidade, configurando caráter pseudoplástico para as amostras; GUERRERO & ALZAMORA (1997) encontraram este mesmo comportamento quando estudaram o purê de banana.

Constata-se que os maiores R^2 foram obtidos com o modelo de Herschel-Bulkley.

Na Figura 4.2 são apresentados os dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para os dados reométricos da amostra de polpa a 10 °Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley.

Observa-se pequeno efeito de temperatura entre as curvas representando 20, 30 e 50 °C, com dados praticamente coincidentes. Verifica-se, ainda o efeito da temperatura com clareza na curva a 10 °C em relação as demais temperaturas.

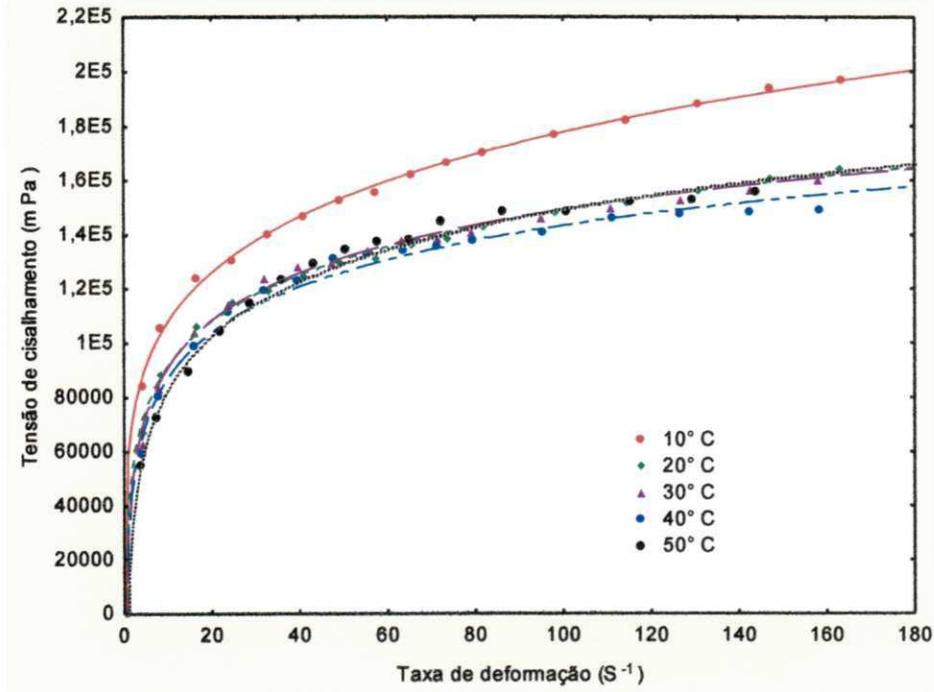


Figura 4.2 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da amostra a 10° Brix, com ajustes pelo modelo de Herschel-Bulkley

Na Tabela 4.4 são apresentados os parâmetros de ajuste aos dados experimentais dos modelos reológicos da Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk. da polpa de goiaba na concentração de 12° Brix.

Para o modelo da Lei da Potência observam-se reduções do índice de consistência (K) com o aquecimento; o índice de comportamento do fluido (n), apesar de apresentar menor valor a 10 °C e maior a 50 °C, entre 20 e 40 °C, não se elevou, acompanhando o aquecimento; os coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,95 e os desvios percentuais médios (P) abaixo de 3%, configuram bons ajustes. FERREIRA et al. (2008) observaram, analisando o efeito da temperatura (10 a 60 °C) sobre o comportamento reológico da polpa do cupuaçu integral, que o índice de consistência e o índice de comportamento do fluido diminuíram com o aumento da temperatura e foram classificados como pseudoplásticos.

Tabela 4.4 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvio percentual médio (%) dos modelos reológicos Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk para a polpa do fruto da goiaba concentrada com 12° Brix

Modelos	Temp. (°C)	Parâmetros			R^2	P (%)
		K	n			
Lei da Potência	10	120573,9400	0,1603		0,9598	2,91
	20	110508,9317	0,2082		0,9874	1,69
	30	101100,2130	0,2165		0,9943	1,46
	40	89842,0256	0,2020		0,9988	0,63
	50	64673,3915	0,2389		0,9956	1,42
	Temp. (°C)	K_{oc}	K_c	R^2	P (%)	
Casson	10	393,9525	10,3042	0,8379	2,88	
	20	377,5696	15,8292	0,9134	2,61	
	30	362,2888	16,0325	0,9281	2,59	
	40	341,3214	13,4330	0,9482	1,96	
	50	290,7062	15,0588	0,9333	2,72	
	Temp. (°C)	τ_{OH}	K_H	n_H	R^2	P (%)
Herschel- Bulkley	10	-2218774,3376	2308583,4836	0,0149	0,9838	1,80
	20	-606883,5205	686167,6934	0,0577	0,9938	1,07
	30	-269118,7969	347131,3450	0,0972	0,9986	0,58
	40	-44805,6064	128871,8329	0,1627	0,9992	0,43
	50	-131679,6034	181108,3868	0,1275	0,9992	0,48
	Temp. (°C)	K_{OH}	K_M	n	R^2	P (%)
Mizrahi & Berk	10	-12773,8038	13095,5387	0,0030	0,9727	1,19
	20	-1660,5186	1972,9927	0,0233	0,9910	0,63
	30	-3909,7746	4201,1361	0,0117	0,9983	0,32
	40	-325,4044	615,6490	0,0576	0,9993	0,21
	50	-2106,7432	2337,41	0,0187	0,9992	0,24

No modelo de Casson o valor do parâmetro K_{OC} se reduz com o aquecimento. O coeficiente de viscosidade plástica, K_C , é afetado pelo aumento de temperatura sofrendo aumento nos seus valores entre 10 e 30 °C; os coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,8 e os desvios percentuais médios (P) abaixo de 3%, configuram ajustes razoáveis. CABRAL et al. (2002), verificaram para a polpa peneirada de cupuaçu nas temperaturas de 10; 15; 20; 25 e 30 °C, tendência de redução dos parâmetros do modelo de Casson de K_{OC} e K_C com o aumento da temperatura.

Para o modelo de Herschel-Bulkley se observam reduções no parâmetro K_H e aumentos no índice n_H com o aumento da temperatura entre 10 e 40 °C. Observaram bons ajustes com R^2 maior que 0,98 e P menor que 2%. HOLDSWORTH (1971) verificou que o índice de comportamento do fluido está, na maioria das frutas, entre 0,30 e 0,50, sendo o da polpa de goiaba inferior a esses valores.

No modelo de Mizrahi-&-Berk não se observam tendências de aumento nos índice K_M e n_H do modelo com o aumento de temperatura; os parâmetros R^2 e P variaram acima de 0,97 e abaixo 2%, respectivamente, configurando bons ajustes; os valores de n_H estão abaixo de 1,0 analisando comportamento pseudoplástico. GUERRERO & ALZAMONA (1997) encontraram para a banana, comportamento semelhante.

Os maiores R^2 e os menores P foram obtidos com os modelos de Herschel-Bulkley e Mizrahi-&-Berk.

Na Figura 4.3 se encontra os dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para os dados reométricos da amostra de polpa a 12 °Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley; observa-se o efeito da temperatura entre as curvas de 20 a 50 °C, apresentando diminuição da tensão de cisalhamento com o aumento da temperatura.

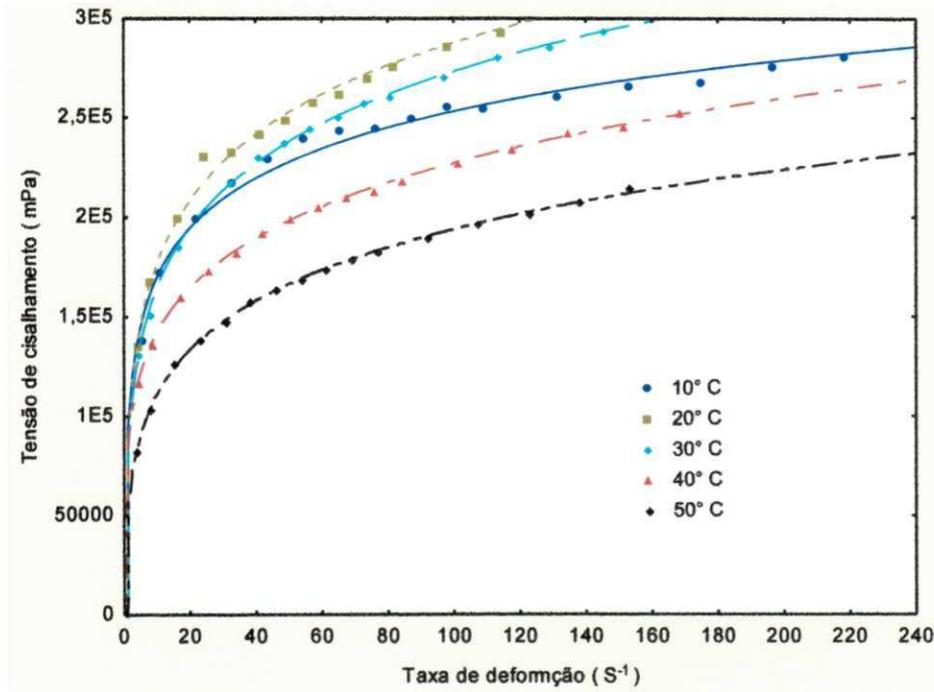


Figura 4.3 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da amostra a 12° Brix, com ajustes pelo modelo de Herschel-Bulkley

4.2.2 - Viscosidades aparentes

Na Tabela 4.5 Tem-se os valores da viscosidade aparente em função da temperatura e velocidade de rotação da polpa da goiaba com 8° Brix.

A redução da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação, observada progressivamente entre todas as rotações e em todas as temperaturas, caracteriza a pseudoplasticidade das amostras a 8 °Brix; a redução das viscosidades com o aumento da temperatura apresenta-se até 30 rpm e entre 10 e 40 °C; em velocidades mais altas o efeito do aquecimento sobre a redução das viscosidades só se manifesta entre a temperatura de 10 °C e as demais. De forma geral, existe tendência de redução da viscosidade com o aumento da temperatura; comportamento semelhante foi verificado por HERNANDEZ et al. (1995) para o suco de laranja ultrafiltrado, os autores constataram diminuição significativa da viscosidade aparente com diminuição da concentração e com o aumento da temperatura.

Tabela 4.5 - Viscosidade aparente (Pa s) da polpa de goiaba com 8 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura

Velocidade de rotação (rpm)	Temperatura (°C)				
	10	20	30	40	50
5	76,86	61,06	56,00	52,40	48,53
10	47,33	40,40	37,06	31,73	32,40
20	27,46	24,53	23,33	20,20	20,40
30	19,62	17,15	16,17	15,77	14,95
40	15,05	12,80	13,26	12,80	12,33
50	12,40	10,21	10,93	11,49	10,29
60	10,46	8,60	9,34	9,43	9,04
70	9,18	7,50	7,96	8,34	8,00
80	8,20	6,61	6,95	7,35	7,25
90	7,28	5,95	6,10	6,69	6,62
100	6,70	5,37	5,57	6,28	6,12
120	5,72	4,62	4,72	5,38	5,24
140	5,06	4,06	4,20	4,60	4,51
160	4,60	3,66	3,55	3,99	4,23
180	4,16	3,28	3,34	3,60	3,88
200	3,83	3,01	2,99	3,01	3,40

Na Figura 4.4 são apresentados os dados de viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da amostra com 8 °Brix nas temperaturas de 10 a 50 °C; observa-se o efeito do aumento da velocidade de rotação sobre o decréscimo de viscosidade e a pequena influência das temperaturas sobre as viscosidades das amostras.

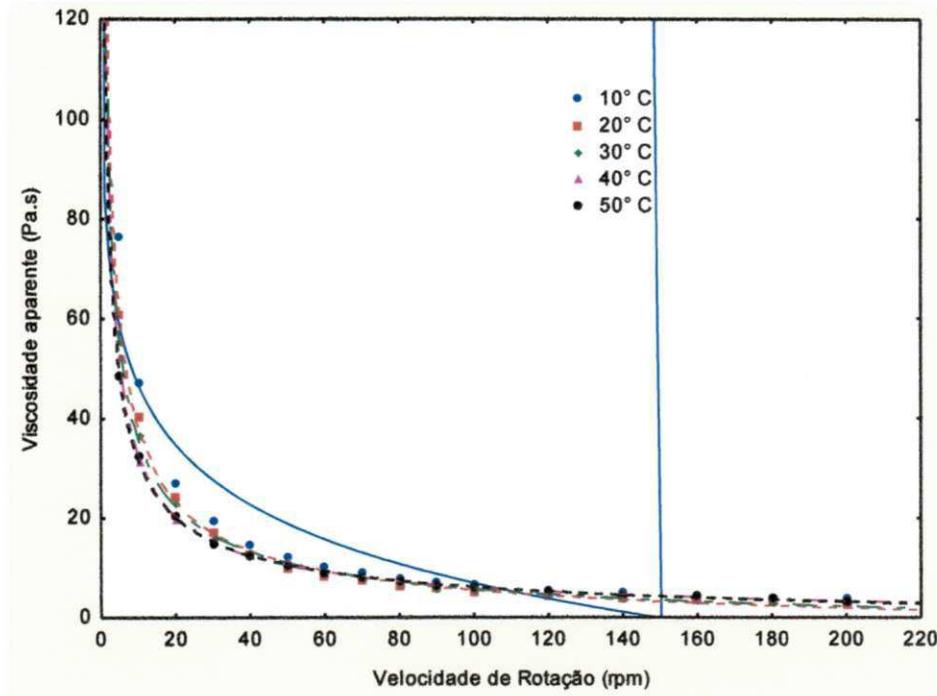


Figura 4.4 - Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa a 8° Brix, nas temperaturas de 10 a 50 °C

Na Tabela 4.6 são apresentados os valores da viscosidade aparente em função da temperatura e da velocidade de rotação da polpa da goiaba com 10 °Brix.

Verifica-se em todos os casos, a pseudoplasticidade das amostras pela redução das viscosidades aparentes com o aumento da velocidade de rotação. A redução das viscosidades com o aumento da temperatura se apresenta progressivamente até 30 rpm; em rotações mais altas constata-se tendência de redução com o aquecimento mas de forma menos pronunciada. ZURITZ et al. (2005) verificaram que a viscosidade aparente do suco da uva clarificado nas temperaturas de 20 a 80 °C e concentrações de 22,9 a 70,6 °Brix, que a viscosidade diminuiu com o aumento da temperatura e aumentou com o aumento da concentração.

UFMG - BIBLIOTECA

Tabela 4.6 - Viscosidade aparente (Pa s) da polpa da goiaba com 10 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura

Velocidade de rotação (rpm)	Temperatura (°C)				
	10	20	30	40	50
5	81,06	64,53	59,73	56,73	45,20
10	50,40	42,40	39,85	38,93	30,60
20	29,53	25,46	24,80	23,73	19,60
30	24,00	18,40	18,31	17,68	15,20
40	18,46	14,11	14,83	14,26	12,70
50	15,17	11,94	12,24	11,94	10,97
60	12,94	10,36	10,35	10,50	9,60
70	11,19	9,04	9,12	8,99	8,45
80	9,68	8,13	8,26	8,00	7,65
90	8,84	7,36	7,39	7,12	7,18
100	8,12	6,82	6,73	6,50	6,82
120	7,03	5,82	5,81	5,57	5,63
140	6,20	5,20	5,12	4,82	4,84
160	5,59	4,67	4,76	4,38	4,31
180	5,13	4,27	4,17	4,03	4,02
200	4,73	3,92	3,82	3,55	3,52

Na Figura 4.5 são apresentados os dados de viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da amostra com 10 °Brix nas temperaturas de 10 a 50 °C; observa-se a redução de viscosidade com a rotação e, inversamente, não se vê a influência da temperatura sobre as viscosidades das amostras.

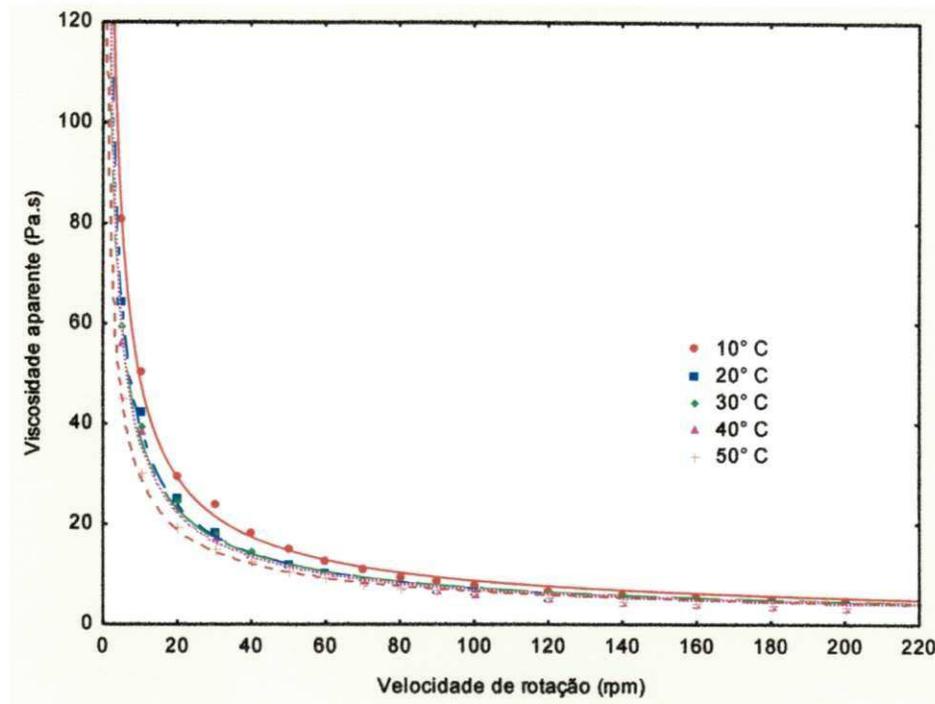


Figura 4.5 - Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa a 10° Brix, nas temperaturas de 10 a 50 °C

Na Tabela 4.7 são apresentados os valores da viscosidade aparente em função da temperatura e da velocidade de rotação da polpa de goiaba com 12 °Brix, assim como nas amostras a 8 e 10 °Brix, a concentração de 12 °Brix confirma a pseudoplasticidade das polpas nas concentrações estudadas, com reduções de viscosidade aparente em função do aumento das velocidades de rotação. De maneira geral, ocorrem reduções de viscosidade com o aquecimento, mas, ao contrário das concentrações a 8 e 10 °Brix, este efeito não é notado entre as temperaturas de 10 e 20 °C; este comportamento tem tendência similar aos encontrados por VIDAL (2000) ao trabalhar com polpa de manga despectinizada na mesma faixa de temperatura, e VIEIRA (1995), para suco de laranja concentrado.

Tabela 4.7 - Viscosidade aparente (Pa s) da polpa de goiaba com 12° Brix em função da velocidade de rotação e temperatura

Velocidade de rotação (rpm)	Temperatura (°C)				
	10	20	30	40	50
5	131,00	129,33	118,66	112,20	77,86
10	78,73	79,86	76,60	65,60	48,03
20	47,86	48,26	45,20	38,33	30,13
30	34,44	31,64	32,48	27,55	22,04
40	27,40	27,44	25,86	21,73	17,60
50	22,85	23,01	24,00	18,37	14,96
60	19,26	19,71	18,86	15,80	12,93
70	17,06	17,54	16,60	13,98	11,48
80	14,90	15,60	14,96	12,53	10,31
90	13,37	14,25	13,65	11,38	9,43
100	12,28	13,14	12,42	10,44	8,69
120	10,32	11,35	10,73	9,02	7,53
140	9,08	9,98	9,55	7,96	6,69
160	8,07	9,05	8,50	7,21	6,05
180	7,32	8,20	7,77	6,50	5,54
200	6,75	7,56	7,16	6,23	5,10

Na Figura 4.6 se encontram os dados de viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da amostra com 12 °Brix nas temperaturas de 10 a 50 °C; tal como nas amostras concentradas a 8 e 10 °Brix, observa-se pseudoplasticidade devido ao efeito do aumento da velocidade de rotação sobre a viscosidade e a pouca influência das temperaturas, ressaltadas apenas na amostra a 50 °C, com todos os pontos experimentais situados em valores inferiores aos das demais temperaturas.

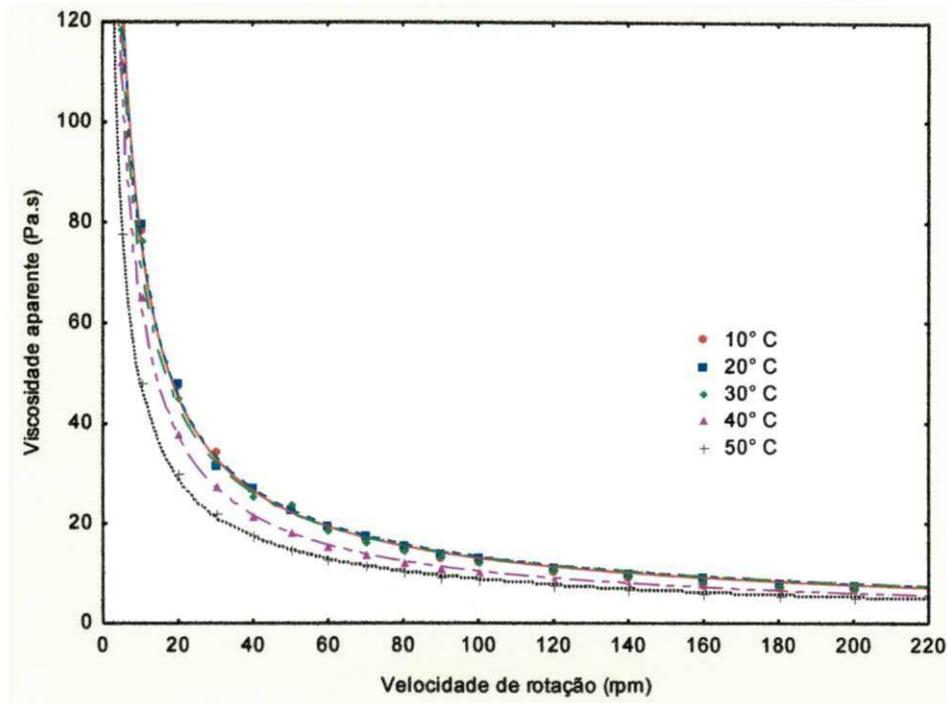


Figura 4.6 - Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa de goiaba a 12° Brix, nas temperaturas de 10 a 50° C

4.2.2.1 - Arrhenius

Tem-se, na Figura 4.7, as viscosidades aparentes da polpa de goiaba com 8 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação; verifica-se, em todas as velocidades de rotação, que a viscosidade aparente aumentou com o inverso da temperatura. RIGO et al. (2010) verificaram, para a polpa de butiá entre as temperaturas de 10 e 60 °C redução da viscosidade aparente com o aumento da temperatura; para determinada temperatura fixa observa-se que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da velocidade de rotação.

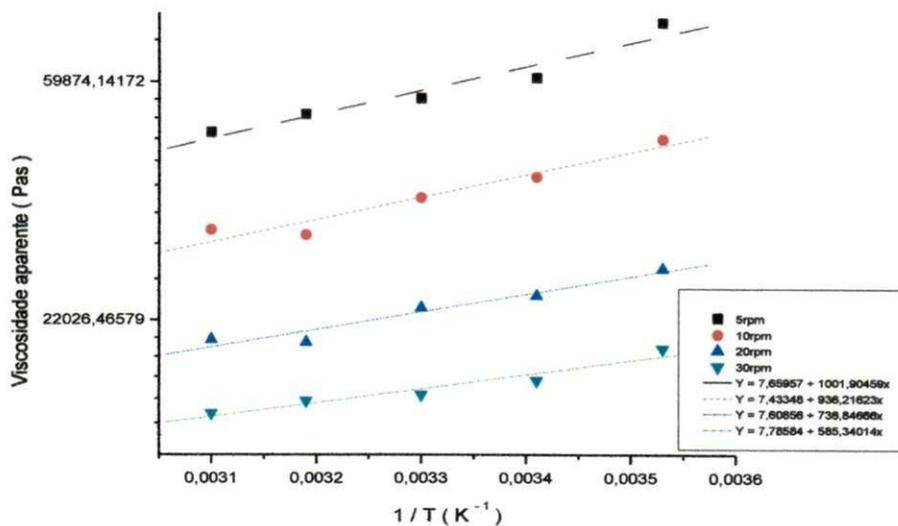


Figura 4.7 - Viscosidade aparente da polpa de goiaba com 8° Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação

Os valores das constantes η_0 (viscosidade aparente inicial teórica) e das energias de ativação (E_a) obtidas, para a polpa de goiaba com 8 °Brix, nas diferentes velocidades de rotação, usando-se a equação de Arrhenius se encontram na Tabela 4.8. Verifica-se que as E_a diminuíram com o aumento da velocidade de rotação e variaram entre 8,3569 e 4,8823 $\text{kJ g}^{-1} \text{mol}^{-1}$; comportamento semelhante foi verificado por FALGUERA & IBARZ (2010) para o suco de laranja concentrado porém esses pesquisadores encontraram valores de E_a superiores, variando de 28 a 32 kJ/mol para taxas de deformação de 10 a 150 s^{-1} , respectivamente, numa faixa de temperatura de $-12\text{ }^\circ\text{C}$ a $+30\text{ }^\circ\text{C}$.

Observa-se que os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,92, significando que a equação de Arrhenius pode ser usada para estimar a energia de ativação.

Tabela 4.8 - Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de goiaba com 8° Brix calculada pela equação do tipo Arrhenius

Velocidade de rotação (rpm)	η_0 (Pa s)	E_a (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R ²
5	2120,8453	8,3569	0,9374
10	1691,6844	7,8089	0,9393
20	2015,3738	6,1460	0,9459
30	2406,2865	4,8823	0,9292

Tem-se, na Figura 4.8, as viscosidades aparentes da polpa de goiaba com 10 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação. Verifica-se, em todas as velocidades de rotação, que a viscosidade aparente apresentou tendência de aumento com o inverso da temperatura. A redução dos valores da energia de ativação com o aumento da velocidade de rotação também foi observada por DAK et al. (2007) em suco de manga e acerola, e por SILVA et al. (2005) ao estudar o suco de maracujá em diversas concentrações. Para determinada temperatura fixa observa-se que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da velocidade de rotação. HAMINIUK et al. (2006) também verificaram comportamento semelhante para a polpa de amora preta, entre as temperaturas de 10 e 60 °C.

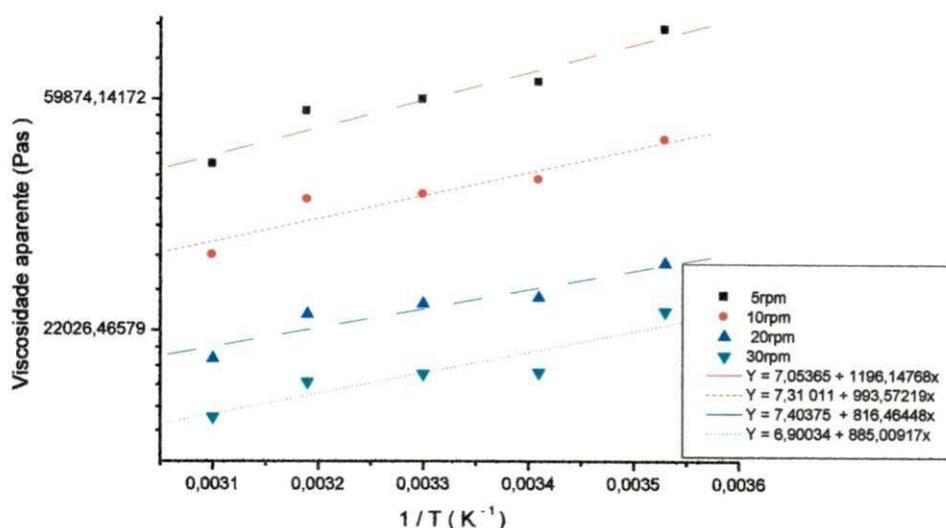


Figura 4.8 - Viscosidade aparente da polpa de goiaba com 10° Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação

Os valores das constantes η_0 (viscosidade aparente inicial teórica) e das energias de ativação (E_a) obtidas para a polpa de goiaba com 10 °Brix, nas diferentes velocidades de rotação, usando-se a equação de Arrhenius se encontram na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de goiaba com 10 °Brix, calculada pela equação do tipo Arrhenius

Velocidade de rotação (rpm)	η_0 (Pa s)	E_a (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R^2
5	1157,0743	9,9770	0,9341
10	1495,3416	8,2873	0,8927
20	1642,1308	6,8101	0,8927
30	992,6121	7,3818	0,8440

Verifica-se que as E_a apresentaram tendência de diminuição com o aumento da velocidade de rotação e variaram entre 9,9770 e 6,8101 kJ g⁻¹ mol⁻¹; a viscosidade aparente inicial teórica diminuiu com o aumento da velocidade de rotação. De acordo com

GUEDES et al. (2010) esta equação indica uma tendência geral da diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura.

Observa-se que os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,84, significando que a equação de Arrhenius pode ser usada para estimar a energia de ativação.

Tem-se, na Figura 4.9, as viscosidades aparentes da polpa de goiaba com 12 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação. Verifica-se, em todas as velocidades de rotação, que a viscosidade aparente apresentou tendência de aumento com o inverso da temperatura; para uma dada temperatura fixa observa-se que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da velocidade de rotação. ZURITZ et al. (2005) verificaram o suco de uva clarificado, que a viscosidade diminuiu com o aumento da temperatura e da concentração.

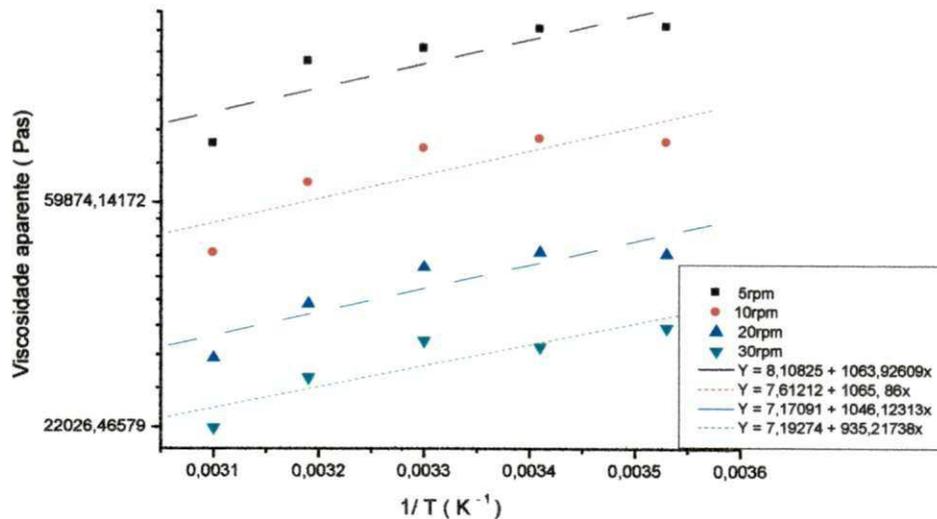


Figura 4.9 - Viscosidade aparente da polpa de goiaba com 12° Brix, em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação

Os valores das constantes η_0 (viscosidade aparente inicial teórica) e das energias de ativação (E_a) obtidas, para a polpa de goiaba com 12 °Brix, nas diferentes velocidades de rotação, usando-se a equação de Arrhenius se encontram na Tabela 4.10. Verifica-se que as E_a apresentaram tendência de diminuição com o aumento da velocidade de rotação e variaram entre 8,8903 e 7,8006 kJ g⁻¹ mol⁻¹; a viscosidade aparente inicial teórica também apresentou tendência de redução com o aumento da velocidade de rotação. TONON et al.

(2009) verificaram que na polpa de açaí devido a uma temperatura fixa, a viscosidade aparente diminui com o aumento da rotação.

Observa-se que os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,80, significando que a equação de Arrhenius pode ser usada para estimar a energia de ativação.

Tabela 4.10 - Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de goiaba com 12 °Brix, calculada pela equação do tipo Arrhenius

Velocidade de rotação (rpm)	η_0 (Pa s)	E_a (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R^2
5	3321,7598	8,8742	0,7322
10	2022,5613	8,8903	0,7246
20	1301,028	8,7257	0,8039
30	1329,7417	7,8006	0,8022

4.3 - Propriedades termofísicas

4.3.1 - Calor específico

Na Tabela A.8 tem-se a análise de variância do calor específico da polpa de goiaba para a fonte de variação concentração, constatando-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores médios do calor específico da polpa da goiaba, nas concentrações de 8, 10 e 12 °Brix.

Tabela 4.11 - Valores experimentais médios do calor específico das polpas de goiaba a 8, 10 e 12 °Brix

Concentração (°Brix)	Calor específico (kJ/kg °C)
8	3,65 a
10	3,58 a
12	3,28 b

DMS = 0,06; MG = 0,84; CV% = 3,38. DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observam-se diminuições dos valores de calor específico com o aumento da concentração, com diferença estatisticamente significativa entre as concentrações de 10 °Brix e 12 °Brix e entre 8 e 12 °Brix. O calor específico entre as amostras com 8 e 10 °Brix resultou em médias estatisticamente iguais. ASSIS et al. (2006) também verificaram, para a polpa de cajá, que o calor específico, a 22,1 °C, diminuiu com o aumento da concentração, com os valores de 3,8551 kJ/kg °C (8,8 °Brix), 3,7763 kJ/kg °C (17,6 °Brix) e 3,5929 kJ/kg °C (22,0 °Brix), próximos aos obtidos no presente trabalho.

Na Tabela 4.12 são apresentados os resultados de calor específico teórico calculados por meio de equações propostas em literatura. Observa-se em todas as amostras que a equação de Dickerson apresentou os menores erros entre o calor específico teórico e o experimental, significando que esta equação foi dentre as testadas foi a que melhor estimou os dados do calor específico. A equação de Siebel para as amostras com 8 e 10 °Brix apresentou erros menores que 10%, podendo também ser usada na predição do calor específico; para a amostra com 12 °Brix deve-se evitar o uso da equação de Siebel para a estimativa, em razão do erro ter sido superior a 10%.

Tabela 4.12 - Valores teóricos do calor específico para a polpa de goiaba e os erros percentuais

Equação	Calor específico (kJ/kg K)		
	8 °Brix	10 °Brix	12 °Brix
Siebel	3,8783	3,7509	3,2859
Erro (%)	3,52	5,51	12,96
Dickerson (1980)	3,7600	3,7047	3,6046
Erro (%)	2,88	1,93	9,69

4.3.2 - Difusividade térmica

Na Tabela A.9 tem-se a análise de variância da difusividade térmica da polpa de goiaba para a fonte de variação concentração; constata-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Na Tabela 4.13 tem-se os valores experimentais médios da difusividade térmica das polpas com 8, 10 e 12 °Brix; entre as polpas com 8, 10 e 12 °Brix, apesar de se identificar tendência de redução em valores absolutos com o aumento da concentração, as diferenças

não são estatisticamente significativas; a média geral da difusividade térmica das polpas de goiaba foi de $1,5589 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ sendo superior aos valores obtidos por KUROZAWA et al. (2008) que variaram de $1,03 \times 10^{-7}$ a $1,18 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ para o mamão e de $0,98 \times 10^{-7}$ a $1,16 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ para o caju.

Tabela 4.13 - Valores experimentais médios de difusividade térmica das polpas de goiaba nas concentrações de 8, 10 e 12 °Brix

Concentração (°Brix)	Difusividade térmica (m^2/s)
8	$1,5967 \times 10^{-7} \text{ a}$
10	$1,5433 \times 10^{-7} \text{ a}$
12	$1,5367 \times 10^{-7} \text{ a}$

DMS = $0,2116 \times 10^{-7}$; MG = $1,5589 \times 10^{-7}$; CV% = 5,42. DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.14 são apresentados os valores teóricos da difusividade térmica da polpa de goiaba nas concentrações 8, 10 e 12 °Brix e os erros em relação aos valores experimentais. Verifica-se que, dentre as equações testadas, apenas a equação de Martens para a amostra com 10 °Brix pode ser usada para estimar os dados da difusividade térmica, para as demais amostras as equações não podem ser usadas em razão de terem apresentado erros muito superiores a 10%, razão pela qual se sugere testar outras equações.

Tabela 4.14 - Valores teóricos da difusividade térmica (m^2/s) para a polpa de goiaba e os erros percentuais

Equação	Difusividade térmica (m^2/s)		
	8 °Brix	10 °Brix	12 °Brix
Alimentos em geral (RIEDEL, 1969)	$1,4 \times 10^{-7}$	$0,9 \times 10^{-7}$	$0,9 \times 10^{-7}$
Erro (%)	23,5	41,56	37,93
Geral (Martens citado por SING, 1982)	$1,37 \times 10^{-7}$	$1,64 \times 10^{-7}$	$0,92 \times 10^{-7}$
Erro (%)	25,14	6,49	36,55

4.3.3 - Condutividade térmica

Na Tabela A.10 tem-se a análise de variância da condutividade térmica da polpa de goiaba para a fonte de variação concentração; constata-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Na Tabela 4.15 se encontram os valores médios de condutividade térmica calculada a partir dos dados experimentais de massa específica, calor específico e difusividade térmica das polpas de goiaba nas concentrações com 8, 10 e 12 °Brix. Observa-se tendência de diminuição dos valores com o aumento da concentração, com as médias diferindo estatisticamente entre as amostras com 8 e 10° Brix e sem diferença estatística entre 10 e 12 °Brix; comportamento semelhante foi observado por SOUZA et al. (2010) para a polpa de umbu.

Tabela 4.15 - Condutividade térmica da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Concentração (°Brix)	Condutividade térmica (W/m K)
8	1,8267 a
10	1,5367 b
12	1,4500 b

DMS = 0,1108; MG = 1,6044; CV% = 2,75. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.16 tem-se os dados da condutividade térmica teórica da polpa de goiaba, nas concentrações de 8, 10, e 12 °Brix.

Tabela 4.16 - Valores teóricos da condutividade térmica (W/mK) da polpa de goiaba

Equação	Condutividade térmica (W/m K)		
	8 °Brix	10 °Brix	12 °Brix
Sucos de frutas (KOLAROV & GROMOV, 1973)	0,5060	0,4925	0,4871
Erro (%)	72,30	67,95	66,41
Materiais biológicos (CHOI & OKOS 1986)	0,5527	0,5344	0,5270
Erro (%)	69,74	65,22	63,66

Constata-se que os valores preditos da condutividade térmica pelas equações de Kolarov & Gromov e de Choi & Okos, foram muito baixos em relação aos valores experimentais, os erros foram muito superiores a 10% e, portanto, não se deve fazer o uso destas para a estimativa destes dados.

4.3.4 - Massa específica

Na Tabela A.11 tem-se a análise de variância da massa específica da polpa de goiaba para as fontes de variação concentração e temperatura; constata-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para todos os fatores e para a interação entre eles. as massas específicas das polpas de goiaba variaram de 1,0217 a 1,1315 g/cm³ sendo próximas as massas específicas da polpa de umbu nas temperaturas de 20 a 40 °C e concentrações de 10 a 30 °Brix, que variaram entre 1,0526 e 1,1598 g/cm³ (LIMA et al., 2003). Verifica-se, em cada temperatura, que com o aumento da concentração ocorreu aumento estatisticamente significativo da massa específica. De modo inverso, observam-se valores progressivamente decrescentes com o aumento de temperatura, em cada polpa de goiaba; comportamento idêntico foi verificado por MERCALI et al. (2011) para as polpas de acerola e mirtilo nas temperaturas de 30 a 80 °C e concentrações entre 2 e 16 °Brix.

Tabela 4.17 - Valores médios da densidade (g/cm³) das polpas de goiaba nas concentrações de 8, 10 e 12 °Brix e temperaturas de 10 a 50 °C

Temperatura (°C)	Concentração		
	8 °Brix	10 °Brix	12 °Brix
10	1,0917 aC	1,1157 aB	1,1315 aA
20	1,0353 bC	1,0859 bB	1,1015 bA
30	1,0288 cC	1,0759 cB	1,0855 cA
40	1,0249 dC	1,0571 dB	1,0641 dA
50	1,0217 dC	1,0347 eB	1,0445 eA

DMS para colunas = 0,0034; DMS para linhas = 0,0029; MG = 1,0666 g/cm³; CV% = 0,16. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.18 tem-se os dados da massa específica teórica da polpa de goiaba nas concentrações de 8, 10 e 12 °Brix. Verifica-se que os valores preditos pelas equações foram próximos aos valores experimentais proporcionando erros menores do que 10%, significando que as duas equações testadas podem ser utilizadas para estimar os dados de massa específica. Dentre as duas equações utilizadas a de Alvarado & Romero proporcionou os menores erros, dar-lhe preferência a mesma na predição dos dados.

Tabela 4.18 - Valores teóricos da massa específica a 30 °C para a polpa de goiaba e os erros percentuais

Equação	Massa específica (Kg/m ³)		
	8 °Brix	10 °Brix	12 °Brix
Alimentos em geral (CHOI & OKOS, 1986)	0,9960	0,9958	0,9958
Erro (%)	3,19	7,44	8,26
Sucos de frutas em geral (ALVARADO & ROMERO, 1989)	1,0289	1,0381	1,0473
Erro (%)	0,0097	3,51	3,52

5 – CONCLUSÕES

O aumento da concentração não provocou alterações consequentes nos parâmetros luminosidade, intensidade de vermelho e na intensidade de amarelo das polpas de goiaba cv. Paluma;

As amostras apresentaram comportamento pseudoplástico; os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação foram bem ajustados pelos modelos de Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk; as viscosidades aparentes sofreram redução com o aumento da temperatura, seguindo uma relação descrita pela equação de Arrhenius;

O calor específico variou de 3,28 a 3,250 kJ/kg K, diminuindo com o aumento da concentração; a utilização de equações para o cálculo teórico do calor específico resultou em estimativas satisfatórias;

A massa específica aumentou com a concentração, reduziu com a temperatura e foi bem estimada por equações, com maiores erros nas amostras mais concentradas;

A difusividade térmica variou com a concentração mas as diferenças não foram estatisticamente significativas; as difusividades não foram bem estimadas teoricamente, com erros superiores a 25% em relação aos resultados experimentais;

A condutividade térmica apresentou tendência de redução com o aumento da concentração; a estimativa da condutividade térmica por equações propostas em literatura não produziu resultados aceitáveis.



6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, R. A. C. **Reologia de sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba.** 1997. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ALVARADO, J. D.; ROMERO, C. H. Physical properties of fruits: I – Density and viscosity of juices as functions of soluble solids content and temperature. **Latin American Applied Research**, v. 19, n. 15, p. 15-21, 1989.

ARAUJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 1, p. 126-134, 2004.

ASSIS, M. M. M.; LANNES, S. C. S.; TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; TELIS-ROMERO, J. Influence of temperature and concentration on thermophysical properties of yellow mombin (*Spondias mombin*, L.). **European Food Research and Technology**, v. 223, n. 5, p. 585–593, 2006.

AZEREDO, H. M. C.; PINTO, G. A. S.; BRITO, E. D.; AZEREDO, R. M. C. Alterações microbiológicas durante a estocagem. In: AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos.** Fortaleza: Embrapa Agroindustrial Tropical, 2004. cap. 1, p.19-35.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. Fatores que condicionam a estabilidade de alimentos. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos.** São Paulo: Atheneu, 1998. v. 3, cap. 2, p. 13-25.

BEZERRA, J. R. M. V. **Estudo reológico do 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.

BLEINROTH, E. W. **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais**. Campinas. Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1988. 200p.

BOURNE, M. C. Relationship between Rheology and Food Texture. In: WELTI-CHANGES, J.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; AGUILERA, J. M. **Engineering and food for the 21st century**. Boca Raton: CRC Press, 2002.

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**, v. 23, n. supl., p. 166-171, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1017 p.

BRUNINI, M. A.; OLIVEIRA, A. L.; VARANDA, D. B. Avaliação da qualidade de polpa de goiaba “Paluma” armazenada a -20 °C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 394–396. 2003.

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

CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 37-40, 2002.

CALVO, C.; DURÁN, L. Propiedades físicas: II – Ópticas y Color. In: AGUILERA, M. **Temas em Tecnologia de Alimentos**. México: CITEC/Instituto Politécnico Nacional, 1997. v. 1, p. 261–288.

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

CHAVES, M. C. V.; GOVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; LEITE, J. C. A.; SILVA, F. L. H. Caracterização físico-química de suco de acerola. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 4, n. 2, p. 1-10, 2004.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B.; CARVALHO, V. D. Algumas características dos frutos de duas cultivares de goiabeira (*Psidium guajava* L.) em fase de maturação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 6., 1981. **Anais...** Recife: UFPE, 1981. v. 3, p. 771-778.

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

CHOI, Y.; OKOS, M. R. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: LEMAUGUER, M.; JELEN, M. **Food engineering and process applications: transport phenomena**. London: Elsevier Applied Science Publishers. 1986. v. 1, cap. 9, p. 93-101.

CHUA, K. J.; MUJAMDAR, A. J.; CHOU, S. K.; HAWLADER, M. N. A.; HO, J. C. Convective drying of banana, guava and potato pieces, effect of cyclical variation on air temperature in drying kinetics and color change. **Drying Technology**, v. 18, n. 4-5, p. 907-936, 2000.

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

COSTELL, E.; DURAN, L. Reologia Físico-química de los zumos y purés de fruta. **Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 81-94, 1982.

DAK, M.; VERMA, R. C.; JAAFFREY, S. N. A. Effect of temperature and concentration on rheological properties of “Kesar” mango juice. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 4, p. 1011–1025, 2007.

DANTAS JÚNIOR, E. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Determinação e elaboração de modelos de predição da massa específica da manga espada. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 22, n. 1, p. 39-42, 2007.

DICKERSON, R. W. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. **Food Technology**, v. 19, n. 52, p. 880-886, 1965.

DICKERSON, R. W. **Thermal properties of foods the freezing preservation of foods**. 4. ed. Westpoint: The AVI Publishing Company, 1968.

DIK, T.; ÖZILGEN, M. Rheological behavior of bentonite-apple juice dispersions. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 27, p. 55-58, 1994.

EVANGELISTA, R. M.; VIEITES, R. L. Avaliação da qualidade de polpa de goiaba congelada, comercializada na cidade de São Paulo. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 13, n. 2, p. 76-81, 2006.

FALGUERA, V.; IBARZ, A. A new model describe flow behavior of concentrated orange juice. **Food Biophysics**, v. 5, n. 2, p. 114–119, 2000.

FAO – 2004. Current Situation and medium-term outlook from tropical fruits. Disponível em: <<http://www.faoorg/es/esc/common/ccg/218/cn/sit-web-e.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2011.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J. M.; CONCEIÇÃO, R. S.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 175-184, 2002.

FERREIRA, G. M.; GUIMARÃES, M. J. O. C.; MAIA, M. C. A. Efeito da temperatura e taxa de cisalhamento nas propriedades de escoamento da polpa do cupuaçu (*T. grandiflorum* Schum) integral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 385-389, 2008.

FURTADO, A. A. L.; CABRAL, L. M. C.; ROSA, M. F.; MODESTA, R. C. D.; PONTES, S. M. Avaliação microbiológica e sensorial da polpa de goiaba tratada termicamente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, n. especial, p. 91-95, 2000.

GABAS, A. L.; MENEZES, R. S.; TELIS-ROMERO, J. **Reologia na indústria de biocombustíveis**. Lavras: INDI, 2012. 156 p.

GOIABA. Disponível em <[HTTP: //web.cronicasurbanas.wordpress.com.br](http://web.cronicasurbanas.wordpress.com.br)> Acesso em:25 ago.2011.

GOMES, J. C.; OLIVEIRA, G. F. **Análises físico-químicas de alimentos**. Viçosa: UFV, 2011. 303 p.

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**, v. 5, n. 2, p. 296-300, 2001.

GONÇALVES, E. D.; ANTUNES, P. L.; BRACKMANN, A. Armazenamento de pêra 'Nijisseiki' em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, n. 2, p. 226-231, 2000.

GONÇALVES, J. R. Introdução à reologia de alimentos fluidos. In: GONÇALVES, J. R.; CAMPOS, S. S.; MORI, E. E. M.; GASPARETTO, C. A. **Reologia e textura em alimentos**. 1. ed. Campinas: ITAL, 1989. cap. 2, p. 6-11.

GUEDES, D. B.; RAMOS, A. M.; DINIZ, M. D. M. S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 4, p. 279-285, 2010.

GUERRERO, S. N.; ALZAMORA, S. M. Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behaviour of fruit purées: I. Banana purée. **Journal of Food Engineering**, v. 33, n. 3-4, p. 239-256, 1997.

GRANGEIRO, A. A. **Reologia da polpa de figo-da-índia**. 2004. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) e amora-preta (*Rubus* spp)**. 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; IZIDORO, D. R.; MASSON, M. L. Rheological characterization of blackberry pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 4, p. 291-296, 2006.

HERNANDEZ, E.; CHEN, C. S.; JOHNSON, J.; CARTER, R. D. Viscosity changes in orange juice after ultrafiltration and evaporation. **Journal of Food Engineering**, 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**, v. 2, n. 4, p. 393-418, 1971.

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

IBARZ, A.; GONZALES, C.; ESPLUGAS, S. Rheology of clarified fruit juices: III - Orange juices. **Journal of Food Engineering**, v. 2, n. 4, p. 485–494, 1994.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática. Censo Agropecuário – 2005. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protbl.asp>>. Acesso em: 14 set. 2011.

JARDIM, D. C. P. Reações de transformação em alimentos: influência da água. In: MOURA, S. C. S. R.; GERMER, S. P. M. **Reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados**. Campinas: ITAL, 2004. p. 17-24.

JAY, J. M. **Microbiologia de alimentos**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 711 p.

JERONIMO, R. F.; KANESIRO, M. A. B. Efeito da associação de armazenamento sob refrigeração e atmosfera modificada na qualidade de mangas 'Palmer'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, n. 2, p. 237-243, 2000.

JUSZCZAK, L.; WITCZAK, M.; FORTUNA, T.; BANYNS, A. Rheological properties of commercial mustards. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 2, p. 209–217, 2004.

KUROZAWA, L. E.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. B.; MURR, F. E. X. Thermal conductivity and thermal diffusivity of papaya (*Carica papaya* L.) and cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, n. 1, p. 78-85, 2008.

LEITÃO, M. F. F. Microbiologia de frutos tropicais e seus produtos. In: MEDINA, J. C. **Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos**. São Paulo: ITAL, 1980. p. 83-126 (Série Frutas Tropicais).

LEMOS, G. C. S.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; COLLIER, L. S.; CARVALHO, A. J. C.; MANICA, I. Goiaba: amadurecimento, colheita, classificação, embalagem, transporte e armazenamento. **Cadernos de Horticultura da UFRS**, v. 3, n.4, p. 1- 8, 1995.

LIMA, A. W. ; SOUSA, C. P. **Fundamentos de microbiologia de alimentos**. In: ALDRIGUE, M. L.; MADRUGA, M. S.; FIOREZE, R.; LIMA, A. W. O.; SOUSA, C. P. **Aspectos da ciência e tecnologia de alimentos**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB/Idéia, 2002. v. 1, p. 103-146.

LIMA, I. J. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa de umbu. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. Especial, n. 1, p. 31-42, 2003.

MAGERRAMOV, M. A.; ABDULAGATOV, A. I.; ABDULAGATOV, I. M.; AZIZOV, N. D. Viscosity of tangerine and lemon juices as a function of temperature and concentration. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 42, n. 7, p. 804 -818, 2007.

MAIA, G. A.; OLIVEIRA, G. S. F.; FIGUEIREDO, R. W. F.; GUTMARÃES, A. C. L. **Tecnologia em processamento de sucos e polpas tropicais**. Brasília: ABEAS, 1998. v. 1 104 p.

MATTIUZ, B; DURIGAN, J. F. Efeito de injurias mecânicas na firmeza e coloração de goiabas das cultivares Paluma e Pedro Sato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 277-281, 2001.

McCLEMENTS, D. J. **Food emulsions: principles, practice, and techniques**. Boca Raton: CRC Press, 1999. 378 p.

MERCALI, G. D.; SARKIS, J. R.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Physical properties of acerola and blueberry pulps. **Journal of Food Engineering**, v. 106, n. 4, p. 283-289, 2011.

MITSCHKA, P. Simple conversion of Brookfield RVT: readings into viscosity functions. **Rheologica Acta**, v. 21, n. 2, p. 207-209, 1982.

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

MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of food and agricultural materials**. New York: Science Publishers, 1980. 742 p.

MOURA, S. C. S. R.; FRANÇA, V. C. L.; LEAL, A. M. C. B. Propriedades termofísicas de soluções modelo similares a sucos: Parte I. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 62-68, 2003.

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

MUNIZ, M. B.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F.; DUARTE, M. E. M. Caracterização termofísica de polpas de bacuri. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 360-368, 2006.

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

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas: Unicamp, 2007. 121 p.

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

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

PEREDA, J. A. O.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1, 294 p.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Comportamento reológico de mel da abelha uruçú (*Melipona scutellaris*, L.). **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 2, p. 179-186, 2003.

PEREIRA, L. M.; RODRIGUES, A. C. C.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; JUNQUEIRA, V. C. A.; CARDELLO, H. M. A. B.; HUBINGER, M. D. Vida-de-prateleira de goiabas minimamente processadas acondicionadas em embalagens sob atmosfera modificada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 427-433, 2003.

QUEIROZ, A. J. 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 de Campinas, Campinas 1998.

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

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1994. 531 p.

RIEDEL, L. Measurements of thermal diffusivity of foodstuffs rich in water. **Kaltetechnik-Klimatisierung**, v. 21, n. 11, p. 315-316, 1969.

RIGO, M.; BEZERRA, J. R. M. V.; CÓRDOVA, K. R. V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de butiá (*Butia eriospatha*). **Ambiência**, v. 6, n. 1, p. 25–36, 2010.

RODRIGUES, I. A água. In: CASTRO, A. G. **A química e a reologia no processamento dos alimentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003. cap. 1, p. 14-36.

RODRIGUES, J. A. S.; PINHEIRO, R. V. R.; MANICA, I.; CASALI, V. W. D.; CONDES, A. R. **Comportamento de dez variedades de manga (*Mangifera indica*) em Viçosa e Visconde de Rio Branco. *Ceres*, v. 24, n. 136, p. 580-595, 1997.**

SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.; MELO FILHO, A. B. D. Polpa de fruta congelada: efeito do processamento sobre o conteúdo de fibra alimentar. ***Revista de Nutrição***, v. 12, n. 3, p. 303-308, 1999.

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

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

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

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

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005. 235 p.

SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETO, C. A. Reologia do suco da acerola e efeitos da concentração e temperatura. ***Ciência e Tecnologia de Alimentos***, v. 225, n. 1, p. 121-126, 2005.

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

SOUZA, M. A.; BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. C. I.; MINIM, L. A.; COIMBRA, J. S. R.; BONOMO, P. Thermophysical properties of umbu pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 3, p. 219-225, 2010.

SOUZA NETO, M. A.; SOUSA, P. H. M. Análises instrumentais para a segurança dos alimentos. In: BASTOS, M. S. R. **Ferramentas da ciência e tecnologia para a segurança dos alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical/ Banco do Nordeste do Brasil, 2008. p. 113-134.

TONON, R. V.; ALEXANDRE, D.; HUBINGER, M. D.; CUNHA, R.L. Steady and dynamic shear rheological properties of açai pulp (*Euterpe oleraceae* Mart.). **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 4, p. 425–431, 2009.

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 orange juices **Journal of Food Science Technology**, v. 15, n. 2, p. 53–55, 1978.

VIANA, A. D. Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) em diferentes concentrações e temperaturas. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.

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

VIEIRA, J. A. G. **Propriedades termofísicas e convecção laminar em tubos de suco de laranja**. 1995. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) UNICAMP, Campinas.

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

VITALI, A. A.; RAO, M. A. Flow properties of low pulp concentrated orange juice: effect of temperature and concentration. **Journal of Food Science**, v. 49, n. 3, p. 882–888, 1984.

VOLPE, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; STRINGUETA, P. C. Pigmentos naturais bioativos. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 1, p. 157-166, 2009.

YUSOF, S. Physico-chemical characteristics of some guava varieties in Malaysia. **Acta Horticulture**, n. 269, p.301-305, 1990.

ZURITZ, C. A.; MUÑOZ PUNTES, E.; MATHEY, H. H.; PÉREZ, E. H.; GASCÓN, A.; RUBIO, L. A.; CARRULO, C. A.; CHERNIKOFF, R. E.; CABEZA, M. S. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 2, p. 143–149, 2005.

APÊNDICE A

Tabela A.1 - Análise de variância das cinzas da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0,07496	0,03748	17,0354**
Resíduo	6	0,01320	0,00220	
Total	8	0,08816		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); 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 sólidos solúveis totais da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	29,93118	14,96559	61,1931**
Resíduo	6	1,46738	0,24456	
Total	8	31,398456		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); 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 da umidade da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	34,82391	17,41196	51,0023**
Resíduo	2.04837	0,34140		
Total	36.87229			

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); 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 da atividade de água da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0,000010	0,00005	2,0044 ns
Resíduo	6	0,0005	0,00003	
Total	8	0,00025		

ns - não significativo; 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 da luminosidade da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	19,68901	9,84451	219,1889 **
Resíduo	6	0,67370	0,04491	
Total	8	20,36271		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); 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 da intensidade de amarelo da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	19,00601	9,50301	67,9493 **
Resíduo	6	2,09782	0,13985	
Total	8	21,10383		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); 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 da intensidade de vermelho da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	29,80458	14,90229	202,9670**
Resíduo	15	1,10133	0,07342	
Total	17	30,90551		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); 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 do calor específico da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0,14183	0,07092	96,0850**
Resíduo	9	0,00664	0,00074	
Total	11	0,14847		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); 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 da difusividade térmica da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0,04309	0,02154	15,7642**
Resíduo	6	0,00820	0,00137	
Total	8	0,05129		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); 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 da condutividade térmica da polpa de goiaba com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0,11302	0,05651	70,1242 **
Resíduo	6	0,00484	0,00081	
Total	8	11,78600		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); 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 da massa específica da polpa de goiaba em diferentes concentrações e temperaturas

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	5	0,07229	0,01446	2963,1176 **
Concentração (F2)	2	0,01268	0,00634	1299,8098 **
Interação (F1 x F2)	10	0,00066	0,00007	13,5439 **
Tratamentos	17	0,08563	0,00505	1032,3910 **
Resíduo	54	0,00026	0,00000	
Total	71	0,08590		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

APÊNDICE B

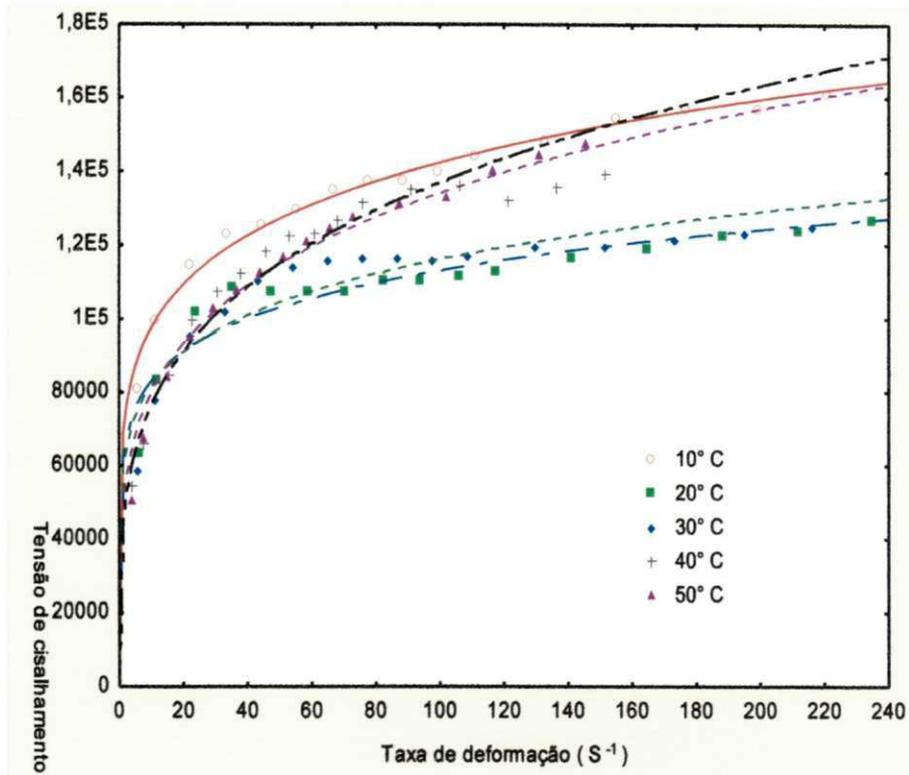


Figura B.1 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 8 °Brix, com ajuste pelo modelo da lei da Potência

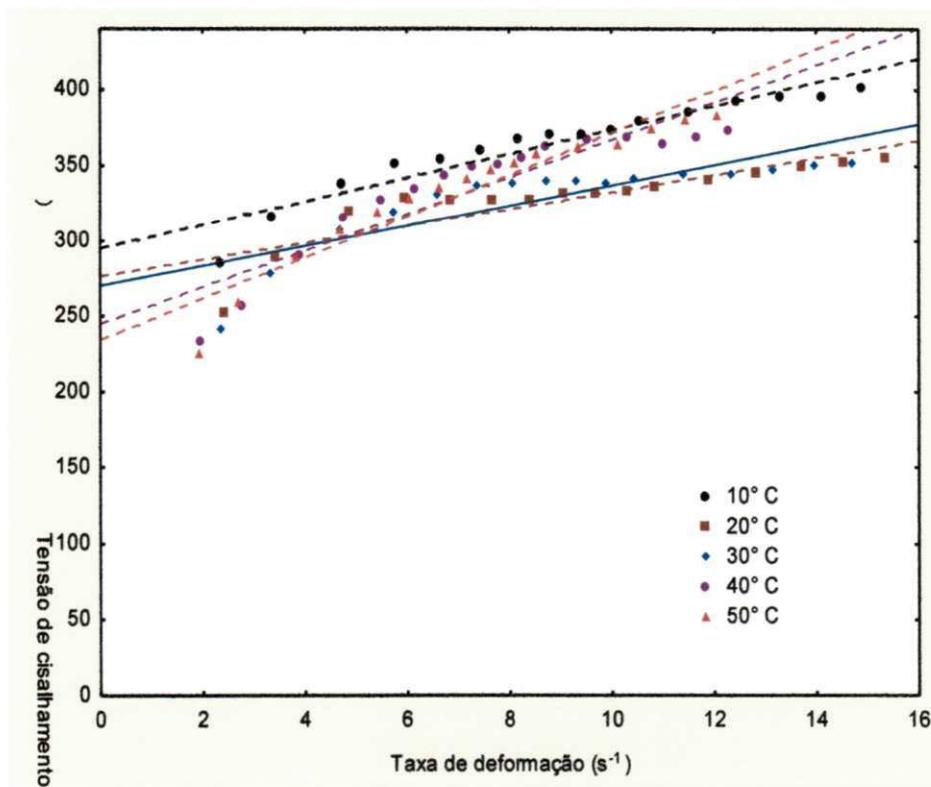


Figura B.2 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 8 °Brix, com ajuste pelo modelo de Casson

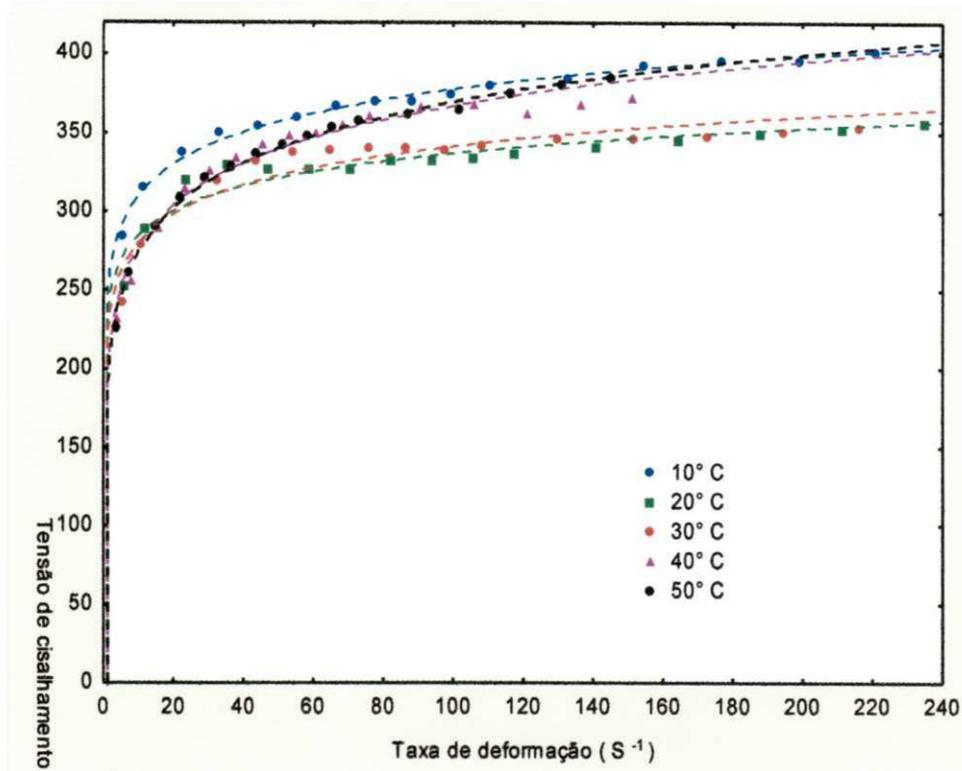


Figura B.3 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 8 °Brix, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

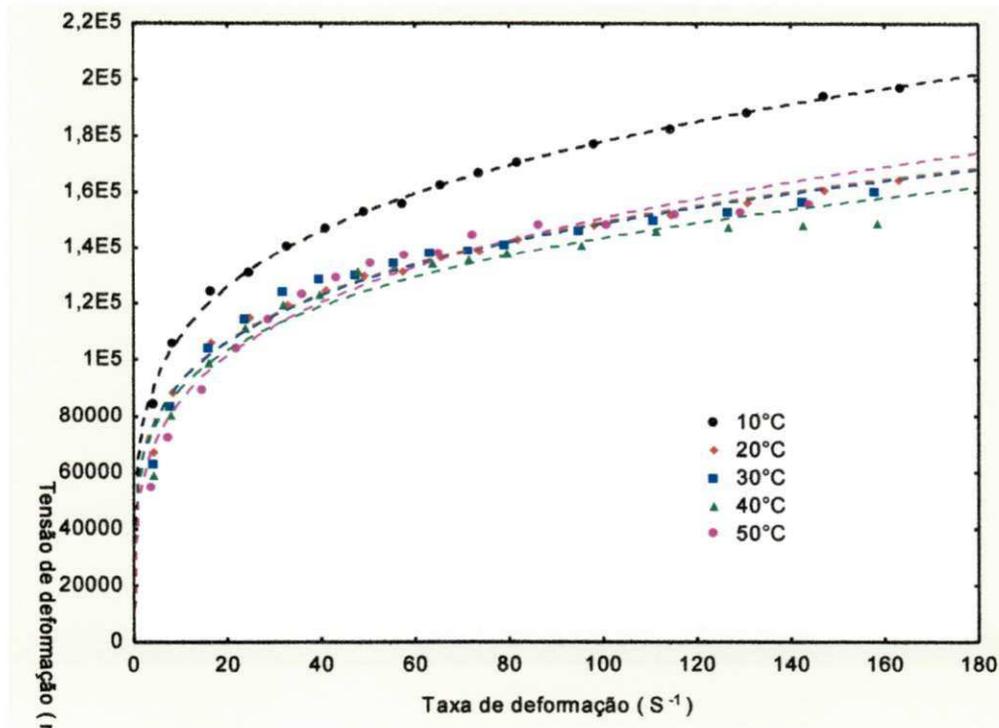


Figura B.4 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 10 °Brix, com ajuste pelo modelo da lei da Potência

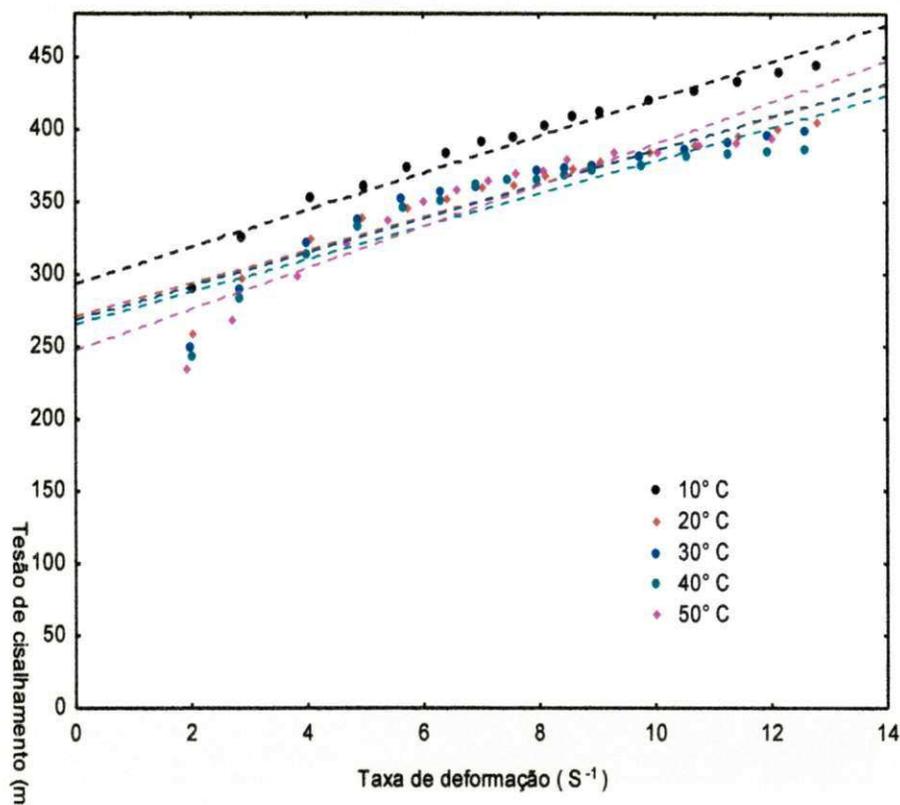


Figura B.5 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 10 °Brix, com ajuste pelo modelo de Casson

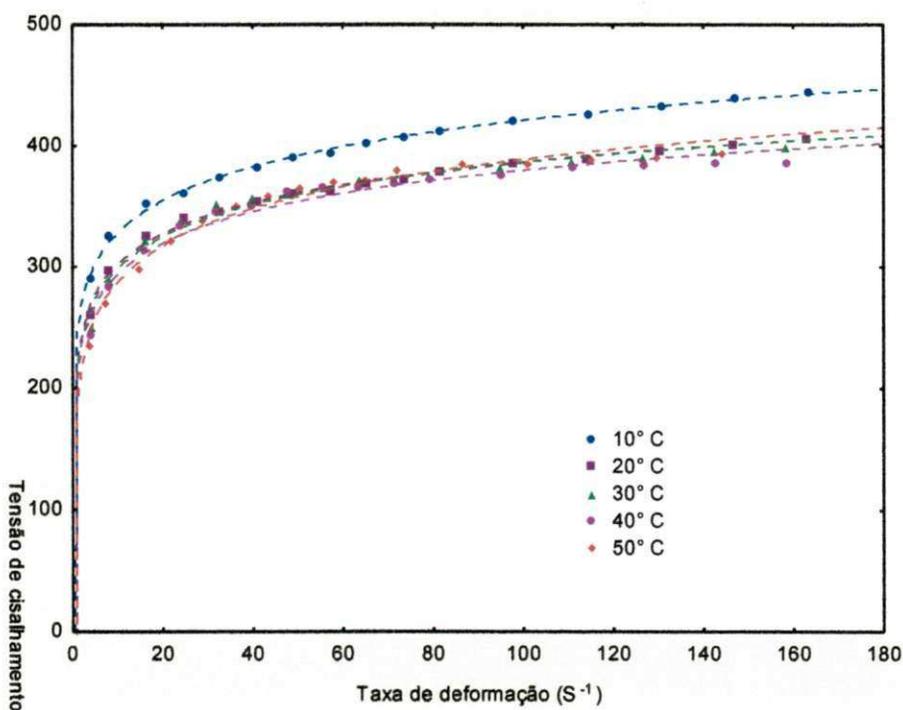


Figura B.6 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 10 °Brix, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk.

UFCC - BIBLIOTECA

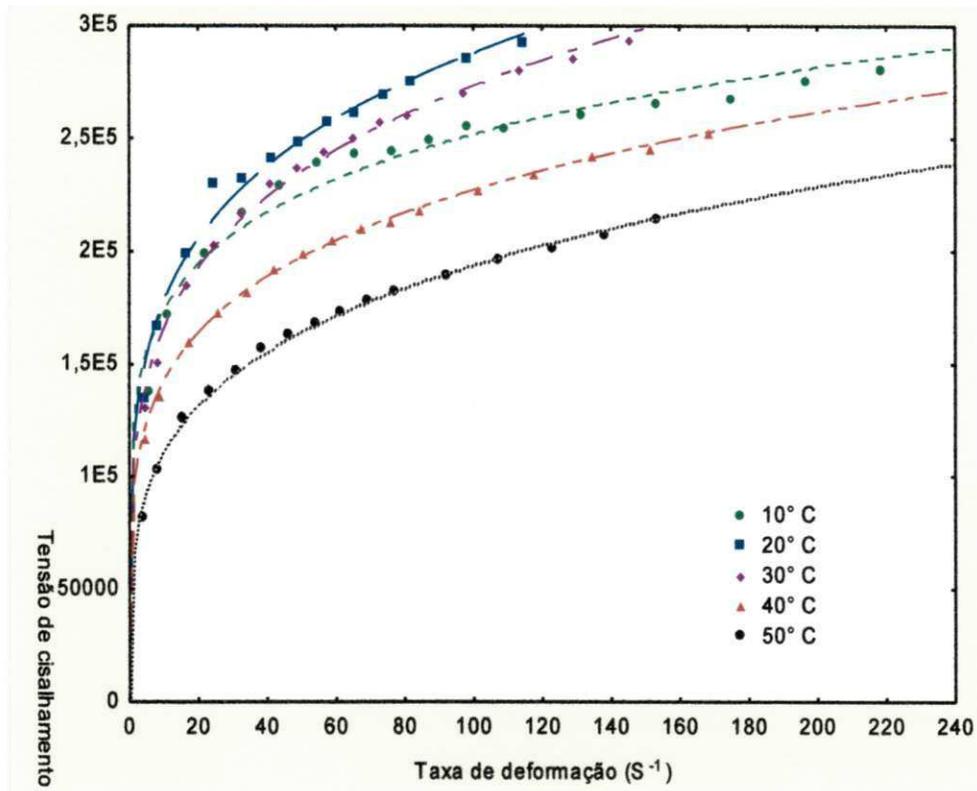


Figura B.7 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 12 °Brix, com ajuste pelo modelo da lei da Potência

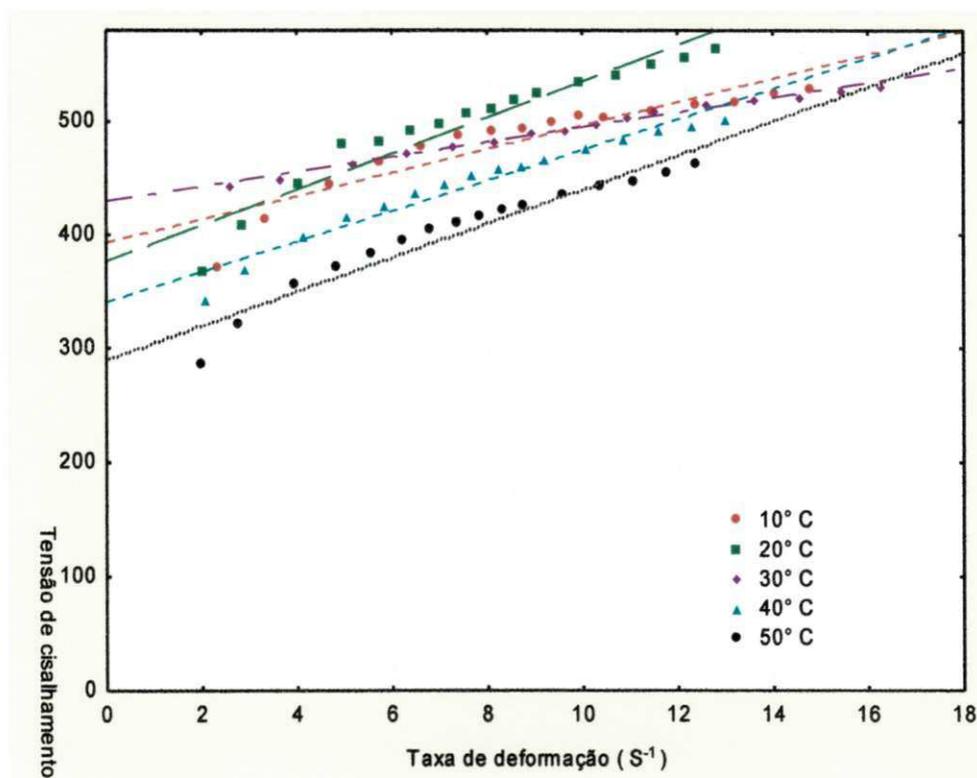


Figura B.8 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 12 °Brix, com ajuste pelo modelo de Casson

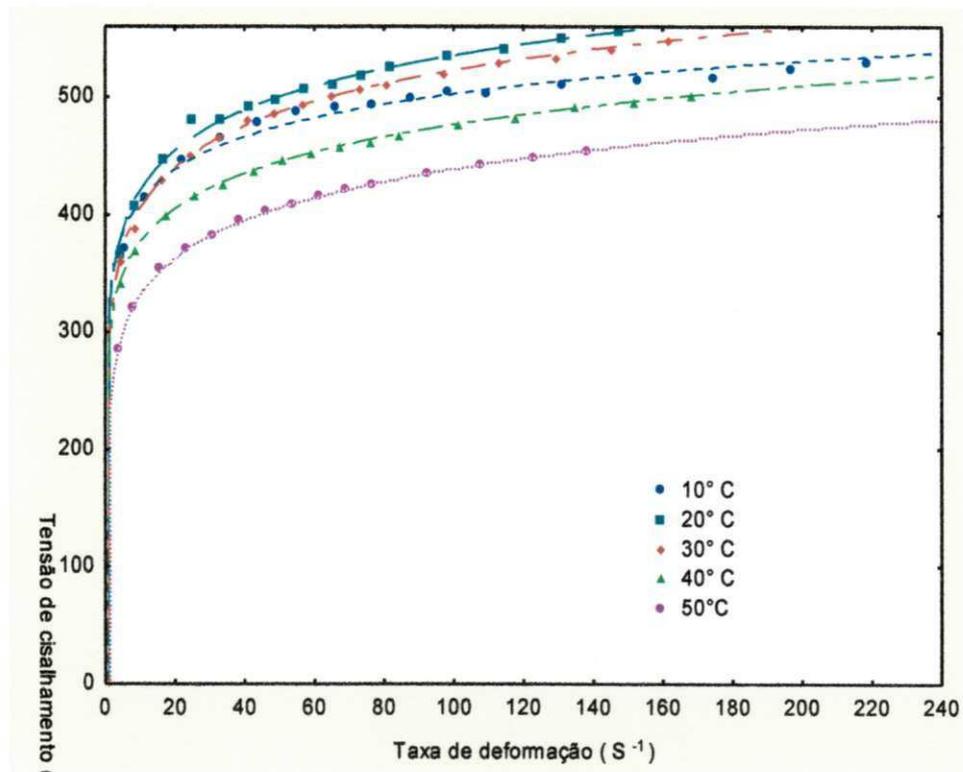


Figura B.9 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de goiaba, na concentração de 12 °Brix, com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

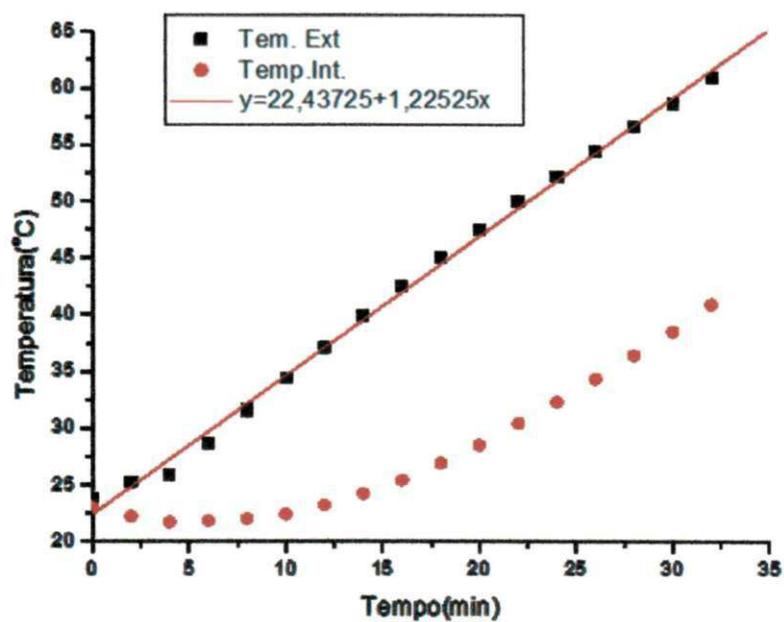


Figura B.10 - Temperatura no centro da polpa de goiaba com 8 °Brix e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo

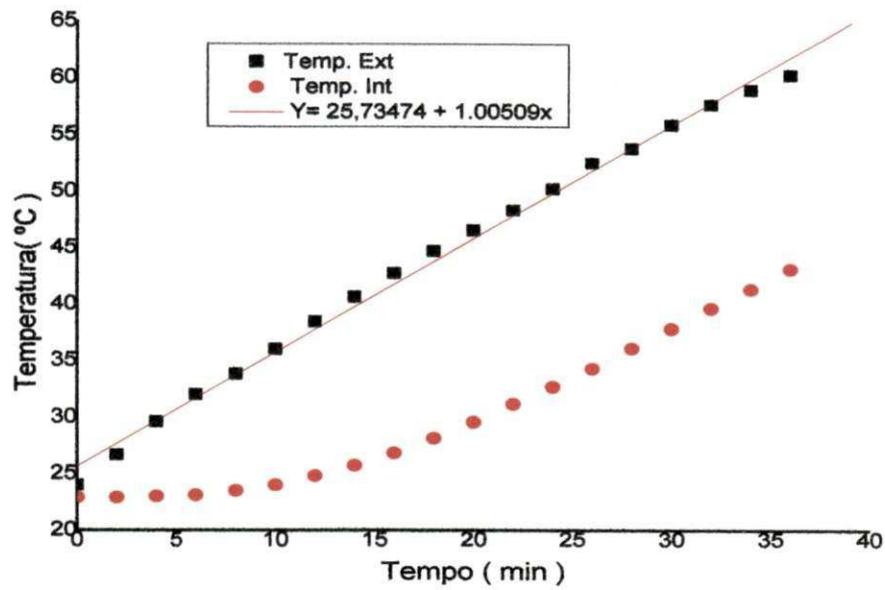


Figura B.11 - Temperatura no centro da polpa de goiaba com 10 °Brix e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo

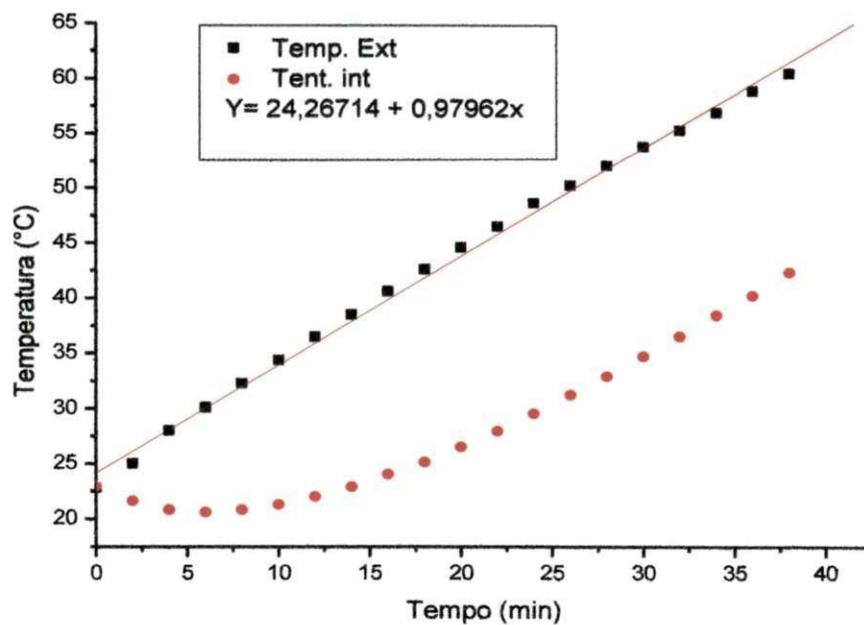


Figura B.12 — Temperatura no centro da polpa de goiaba com 12 °Brix e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo