



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

PROPRIEDADES FÍSICAS
DA POLPA DE PEQUI

ELISABETE PIANCÓ DE SOUSA

Campina Grande
Paraíba



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



DISSERTAÇÃO

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

PROPRIEDADES FÍSICAS DA POLPA DE PEQUI

ELISABETE PIANCÓ DE SOUSA

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro, 2013

PROPRIEDADES FÍSICAS DA POLPA DE PEQUI

ELISABETE PIANCÓ DE SOUSA

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

Profª. Drª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S725p Sousa, Elisabete Piancó de.
Propriedades físicas da polpa de pequi / Elisabete Piancó de
Sousa. – Campina Grande, 2013.
109 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos
Naturais, 2013.

"Orientação: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, Rossana
Maria Feitosa de Figueiredo".

Referências.

1. *Caryocar coriaceum* Wittm - Pequi. 2. Reologia. 3. Calor
Específico. 4. Difusividade Térmica. 5. Condutividade Térmica.
I. Queiroz, Alexandre José de Melo. II. Figueiredo, Rossana Maria
Feitosa de. III. Título.

CDU 634.2(043)

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

ELISABETE PIANCÓ DE SOUSA

PROPRIEDADES FÍSICAS DA POLPA DE PEQUI

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Alexandre J. M. Queiroz
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Orientador (UAEA/CTRN/UFCG)

APROVADA

Rossana M. F. de Figueirêdo
Dr^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Orientadora (UAEA/CTRN/UFCG)

Aprovada

Karla dos Santos Melo de Sousa
Dr^a. Karla dos Santos Melo de Sousa
Examinadora (UFCG/CDSA/UATEC)

APROVADA

Vimário Simões Silva
Dr. Vimário Simões Silva
Examinador (UAEQ/CTRN/UFCG)

APROVADA

FEVEREIRO DE 2013

“Tudo posso Naquele que me fortalece”

Filipenses 4:13

*A Meus pais que são meus
heróis e tudo pra mim. Essa
conquista é nossa!*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me amparar nos momentos difíceis, pela força interior para superar as dificuldades, mostrar o caminho nas horas incertas e me suprir de todas as necessidades.

A meus pais (Neide e Augustinho), que me deram não somente a vida mas principalmente uma formação sólida, além de todo arrimo, dedicação, abnegação e presteza; enfim por nunca terem deixado de acreditar em mim.

As meus irmãos, David, Heliane, Antonio, Junior e Herlaneide, pelo apoio incondicional, carinho e zelo para comigo. Amo muito vocês!

A Ailton, pelo carinho, paciência, incentivo, reconhecimento e por toda compreensão em tantos momentos de ausência.

A Francinete, Viviane e Deusa, pelas orações, incentivo e apoio em todas as minhas conquistas.

A minha amiga e irmã Danielle Martins, que DEUS colocou na minha vida, pelo bom convívio, cordialidade e por estar presente nos momentos em que mais preciso. Presente de Deus pra mim!

A Emanuel Neto, por me ter incentivado no curso de Pós-graduação e acreditado na minha capacidade, mesmo quando distante por circunstâncias do destino.

A Nalva e a Luzia Márcia pela amizade construída, parceria, oportunidade de trabalharmos juntas; enfim, pelas inúmeras realizações durante o mestrado; muito agradecida.

Aos Colegas de mestrado, Luzia Márcia, Francinalva, Bruno, Joabis e Aline, pelas disciplinas que cursamos juntos e inúmeros momentos inesquecíveis compartilhados no CZ e na nossa humilde residência.

A Regilane, Luciana, Débora e Silvana, pela amizade erguida, cumplicidade, apoio e por se mostrarem sempre solícitas, tornando-se companheiras e amigas.

A Joyce, Thiago e Salomé, por ouvirem meus desabaços, pelos abraços e sorrisos que me ajudaram a suportar todas as tribulações sofridas durante a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, por propiciarem a realização deste sonho e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro.

Aos meus orientadores, Prof. Alexandre e Prof. Rossana, pelos conhecimentos transmitidos, pela oportunidade oferecida, orientação, dedicação, compreensão, paciência, oportunidade de crescimento e, sobretudo, pela confiança em minha capacidade e pela incomensurável qualidade profissional.

A todos os professores que contribuíram para meu desenvolvimento profissional, em especial á Professora Josivanda.

A todos que colaboraram, de forma direta ou indireta, na realização deste trabalho, o meu MUITO OBRIGADA.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivo geral	3
1.2 - Objetivos específicos	3
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 - Pequi	4
2.2 - Polpa de pequi e seus constituintes	5
2.3 - Reologia	8
2.3.1 - Fluido newtoniano	9
2.3.2 - Fluido não-newtoniano	10
2.3.3 - Efeito da temperatura	13
2.4 - Propriedades termofísicas	14
2.4.1 – Calor específico	15
2.4.2 – Difusividade térmica	16
2.4.3 - Condutividade térmica	18
3-MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 - Matéria-prima	21
3.2 - Processamentos dos frutos e preparo das amostras	21
3.3 - Análises químicas, físicas e físico-químicas da polpa de pequi integral	21
3.3.1 - Teor de água	21
3.3.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix)	21
3.3.3 - Açúcares totais, redutores e não redutores.....	21
3.3.4 - Proteínas	22
3.3.5 - Lipídios	22
3.3.6 - pH	22
3.3.7 - Acidez total titulável.....	22
3.3.8 - Cinzas	22
3.3.9 - Atividade de água (a_w)	22
3.3.10 - Ácido ascórbico	22

3.3.11 - Cor	23
3.4 - Preparação das amostras para determinação das propriedades reológicas e termofísicas	23
3.4.1 - Comportamento reológico	23
3.4.2 - Viscosidade aparente	23
3.4.3 - Modelos reológicos	24
3.4.4 - Efeito da temperatura	26
3.5 - Propriedades termofísicas	26
3.5.1 – Calor específico	26
3.5.2. Difusividade térmica	28
3.5.3-.Condutividade térmica	29
3.5.4 – Tratamento dos dados	30
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de pequi integral	31
4.2 - Comportamento reológico	34
4.2.1 - Viscosidades aparentes	34
4.2.1.1 - Modelo de Sisko	40
4.2.1.2 - Efeito da temperatura	46
4.2.2 - Modelos reológicos	50
4.3 - Propriedades termofísicas	60
4.3.1 - Calor específico	60
4.3.2 - Difusividade térmica	65
4.3.3 - Condutividade térmica	67
5 – CONCLUSÕES	73
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICE A	92
APÊNDICE B	95
APÊNDICE C	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Fruto do pequi 5	5
Figura 2.2 -	Comportamento reológico de fluidos independentes do tempo .. 10	10
Figura 2.3 -	Curvas de escoamento de fluidos não newtonianos de propriedades dependentes do tempo de cisalhamento 12	12
Figura 4.1 -	Viscosidades aparentes em função da taxa de deformação da polpa de pequi com teor de água de 55% nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C 44	44
Figura 4.2 -	Viscosidades aparentes em função da taxa de deformação da polpa de pequi com teor de água de 60% nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C 44	44
Figura 4.3 -	Viscosidades aparentes em função da taxa de deformação da polpa de pequi com teor de água de 65% nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C 45	45
Figura 4.4 -	Viscosidades aparentes em função da taxa de deformação da polpa de pequi com teor de água de 70% nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C 45	45
Figura 4.5 -	Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de pequi com 55% de teor de água, com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk 58	58
Figura 4.6 -	Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de pequi com 60% de teor de água, com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk 58	58
Figura 4.7 -	Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de pequi com 65% de teor de água, com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk 59	59
Figura 4.8 -	Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de pequi com 70% de teor de água, com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk 60	60
Figura B.1 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 55% de teor de água, com os ajustes pelo modelo de Ostwald-de-Waelle 96	96

Figura B.2 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 60% de teor de água, com os ajustes para modelo Ostwald-de Waelle	96
Figura B.3 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 65% de teor de água, com os ajustes para modelo de Ostwald-de Waelle	97
Figura B.4 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 70% de teor de água, com os ajustes para modelo de Ostwald-de Waelle	97
Figura B.5 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 55% de teor de água, com os ajustes para modelo de Casson	98
Figura B.6 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 60% de teor de água, com os ajustes para modelo de Casson	98
Figura B.7 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 65% de teor de água, com os ajustes para modelo de Casson	99
Figura B.8 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 70% de teor de água, com os ajustes para modelo de Casson	99
Figura B.9 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 55% de teor de água, com os ajustes para modelo de Herschel-Bulkley	100
Figura B.10 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 60% de teor de água, com os ajustes para modelo de Herschel-Bulkley	100
Figura B.11 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 65% de teor de água, com os ajustes para modelo de Herschel-Bulkley	101

Figura B.12 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 70% de teor de água, com os ajustes para modelo de Herschel-Bulkley	101
Figura B.13 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 55% de teor de água, com os ajustes para modelo de Vocadlo	102
Figura B.14 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 60% de teor de água, com os ajustes para modelo de Vocadlo	102
Figura B.15 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 65% de teor de água, com os ajustes para modelo de Vocadlo	103
Figura B.16 -	Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 70% de teor de água, com os ajustes para modelo de Vocadlo	103
Figura C.1 -	Temperatura no centro da polpa de pequi (55% de teor de água) e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo ...	106
Figura C.2 -	Temperatura no centro da polpa de pequi (60% de teor de água) e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo ..	107
Figura C.3 -	Temperatura no centro da polpa de pequi (65% de teor de água) e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo ..	108
Figura C.4 -	Temperatura no centro da polpa de pequi (70% de teor de água) e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo ...	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -	Equações usadas para calcular calor específico teórico de alimentos	15
Tabela 2.2 -	Equações de difusividade térmica teórica	17
Tabela 2.3 -	Equações para cálculo da condutividade térmica de alimentos ...	19
Tabela 3.1 -	Equações usadas para calcular calor específico teórico	28
Tabela 3.2 -	Equações de difusividade térmica teórica	29
Tabela 3.3 -	Equações para cálculo da condutividade térmica teórica.....	30
Tabela 4.1 -	Valores médios dos parâmetros químicos, físicos e fisico-químicos da polpa de pequi integral	31
Tabela 4.2 -	Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 25 °C	35
Tabela 4.3 -	Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 30 °C	36
Tabela 4.4 -	Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 35 °C	37
Tabela 4.5 -	Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 40 °C	37
Tabela 4.6 -	Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 45 °C	38
Tabela 4.7 -	Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 50 °C	39
Tabela 4.8 -	Parâmetros do modelo de Sisko, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas	41
Tabela 4.9 -	Valores da energia de ativação (E_a) da polpa de pequi com 55% de teor de água em diferentes velocidades de rotação	47
Tabela 4.10 -	Valores da energia de ativação (E_a) da polpa de pequi com 60% de teor de água em diferentes velocidades de rotação	48
Tabela 4.11 -	Valores da energia de ativação (E_a) da polpa de pequi com 65% de teor de água em diferentes velocidades de rotação	49

Tabela 4.12 -	Valores da energia de ativação (E_a) da polpa de pequi com 70% de teor de água em diferentes velocidades de rotação	49
Tabela 4.13 -	Parâmetros do modelo de Ostwald-de Waelle, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas ...	51
Tabela 4.14 -	Parâmetros do modelo de Casson, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas	52
Tabela 4.15 -	Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas ...	54
Tabela 4.16 -	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas	55
Tabela 4.17 -	Parâmetros do modelo de Vocadlo, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas ...	57
Tabela 4.18 -	Calor específico (kJ/kg °C) das polpas de pequi em função da temperatura e do teor de água	61
Tabela 4.19 -	Valores teóricos do calor específico para a polpa de pequi com 55% de teor de água e os erros percentuais	62
Tabela 4.20 -	Valores teóricos de calor específico para a polpa de pequi com 60% de teor de água e os erros percentuais	63
Tabela 4.21 -	Valores teóricos de calor específico para a polpa de pequi com 65% de teor de água e os erros percentuais	64
Tabela 4.22 -	Valores teóricos de calor específico para a polpa de pequi com 70% de teor de água e os erros percentuais	65
Tabela 4.23 -	Difusividade térmica das polpas de pequi	65
Tabela 4.24 -	Difusividades térmicas experimentais e valores teóricos obtidos por meio de equações e erros percentuais	67
Tabela 4.25 -	Condutividade térmica (W/m °C) da polpa de pequi com diferentes teores de água e temperatura	68

Tabela 4.26 -	Valores teóricos da condutividade térmica para a polpa de pequi com teor de água de 55% e os erros percentuais	69
Tabela 4.27 -	Valores teóricos da condutividade térmica para a polpa de pequi com teor de água de 60% e os erros percentuais	70
Tabela 4.28 -	Valores teóricos da condutividade térmica para a polpa de pequi com teor de água de 65% e os erros percentuais	71
Tabela 4.29 -	Valores teóricos da condutividade térmica para a polpa de pequi com teor de água de 70% e os erros percentuais	72
Tabela A.1 -	Análise de variância da viscosidade aparente na temperatura de 25 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água	93
Tabela A.2 -	Análise de variância da viscosidade aparente na temperatura de 30 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água	93
Tabela A.3 -	Análise de variância da viscosidade aparente na temperatura de 35 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água	93
Tabela A.4 -	Análise de variância da viscosidade aparente na temperatura de 40 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água	94
Tabela A.5 -	Análise de variância da viscosidade aparente na temperatura de 45 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água	94
Tabela A.6 -	Análise de variância da viscosidade aparente na temperatura de 50 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água	94
Tabela C.1 -	Análise de variância do calor específico da polpa de pequi em diferentes temperaturas e teores de água	105
Tabela C.2 -	Análise de variância da difusividade térmica da polpa de pequi em diferentes teores de água	105

RESUMO

Apesar do elevado potencial econômico do pequi, ainda são escassos os trabalhos relacionados às suas propriedades físicas para fins industriais. Este trabalho teve como objetivo estudar as propriedades físicas da polpa de pequi com diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%): reologia, calor específico, difusividade e condutividade térmica. A reometria foi realizada em viscosímetro Brookfield; o calor específico em calorímetro de mistura; a difusividade térmica utilizando-se o método do cilindro de Dickerson e a condutividade térmica o equipamento KD-2. Os dados reológicos foram ajustados pelos modelos de Sisko, Ostwald-de-Waele, Casson, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Vocadlo, com coeficientes de determinação (R^2) maiores que 0,90 e desvios percentuais médios (P) menores que 10%, com melhores ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk. As polpas de pequi com teor de água de 55, 60, 65 e 70% apresentaram tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação comportando-se como fluidos não newtonianos com características pseudoplásticas. O calor específico apresentou tendência de aumento com o aumento da temperatura e do teor de água das polpas. A difusividade térmica da polpa de pequi aumentou com o aumento do teor de água; também a condutividade térmica das polpas não apresentou uma tendência definida com o aumento do teor de água e da temperatura nas polpas estudadas.

Palavras-chave: *Caryocar coriaceum* Wittm., reologia, calor específico, difusividade térmica, condutividade térmica

ABSTRACT

Despite the high economic potential of *pequi*, there are still few studies related to its physical properties for industrial purposes. This paper aimed at studying the physical properties of the *pequi* pulp with different moisture contents (55, 60, 65 and 70%): rheology, specific heat, thermal conductivity and diffusivity. The rheometry was performed on a Brookfield viscometer; the specific heat in a mixture calorimeter, the thermal diffusivity by using the Dickerson cylinder method and the thermal conductivity by KD-device 2. The rheological data were fitted by Sisko, Ostwald-de-Waele, Casson, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk and Vocadlo models with coefficients of determination (R^2) greater than 0.90 and average percentage deviations (P) less than 10%, the best fits were performed by Mizrahi-Berk model. The *pequi* pulps with moisture contents of 55, 60, 65 and 70% tended to decrease in apparent viscosity with increasing rotational speed behave as non-newtonian fluids with pseudoplastic characteristics. The specific heat tended to increase with increasing temperature and moisture content of the pulp. The thermal diffusivity of the *pequi* pulp increased with increasing moisture content; also the thermal conductivity of the pulp did not show a definite trend with increasing water content and temperature of the pulps investigated.

Keywords: *Caryocar coriaceum* Wittm, rheology, specific heat, thermal diffusivity, thermal conductivity

1 - INTRODUÇÃO

O crescente interesse mundial por frutas nativas do Brasil tem impulsionado a realização de pesquisas no Cerrado, um dos biomas brasileiros que mais contribuem para a produção dessas frutas (SANTOS et al., 2006). Neste cenário se encontra o pequi, de reconhecido valor socioeconômico e de grande aceitabilidade pelas populações locais. A utilização do pequi como matéria-prima para a agroindústria é, entretanto, incipiente, devido à necessidade de informações sobre suas características químicas e físico-químicas, principalmente da espécie *Caryocar coriaceum*, que até então ainda foram pouco estudadas (OLIVEIRA et al., 2010).

O pequi é uma árvore nativa do cerrado brasileiro, da família Caryocaraceae, com floração nos meses de agosto a novembro e maturação dos frutos de novembro a fevereiro (SANTOS et al., 2004). Na parte mais setentrional do Nordeste brasileiro é encontrada a espécie *Caryocar coriaceum*, que exerce importante papel socioeconômico na Chapada do Araripe e circunvizinhanças, nos Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. Porém poucas são as informações disponíveis na literatura especializada dedicada a essa espécie, com reflexos negativos para a melhoria do sistema atual de exploração e, sobretudo, para o surgimento de empreendimentos agroindustriais (OLIVEIRA et al., 2008). De acordo com dados do IBGE (2010), foram coletadas 5.786 toneladas de fruto de pequi, sendo que o principal produtor, o Estado do Ceará, produziu 3.121 toneladas. O segundo maior Estado produtor foi Minas Gerais, com 1.724 toneladas vindo, em seguida, o Pará (420 toneladas), Bahia (319 toneladas) e Goiás (107 toneladas).

Apesar da importância econômica e sua dimensão social, principalmente no que se refere à geração de renda para contingente expressivo de agricultores familiares, a exploração sustentada do pequi em regiões de cerrado enfrenta sérias limitações. Entre essas limitações pode-se citar: ameaça de erosão da variabilidade genética frente ao avanço da fronteira agrícola, o pequeno número de trabalhos de pesquisa (quando comparado com as culturas tradicionais), técnicas de propagação da planta pouco conhecidas ou divulgadas, desconhecimento da qualidade do produto comercializado “*in natura*” e de seus derivados, além da ocorrência de exploração econômica informal de grande parte ou maioria da produção, o que dificulta a gestão da qualidade dos processos e produtos comercializados (OLIVEIRA, 2006).

O pequi é importante para alimentação e renda de diversas comunidades do sul do Ceará constituindo-se em fonte de proteínas, vitaminas e sais minerais. Segundo Lima et

al. (2007), na polpa e na amêndoa do pequi os lipídios são os constituintes predominantes, prevalecendo os ácidos graxos oleico e palmítico; também se detectam um teor elevado de fibra alimentar e a presença de compostos fenólicos e carotenoides totais, os quais estão associados à prevenção de processos oxidativos.

Os frutos de pequi são explorados para subsistência das famílias locais sendo que, em função da produção sazonal, os aproveitamentos alimentar e econômico do pequi ficam restritos a alguns meses do ano. Todavia, é necessário salientar a importância do estudo desse fruto como matéria-prima para a agroindústria, sendo oportuno o estudo voltado para as propriedades físicas a fim de que os mesmos sejam beneficiados e comercializados durante o ano todo, além de fornecer informações que são desconhecidas para a polpa de pequi da espécie *Caryocar coriaceum*.

O estudo das propriedades físicas envolve os conhecimentos necessários para manipulação, transporte e estocagem de polpas de frutas, sendo significativos para o correto dimensionamento dos equipamentos destinados a essas operações. No entanto, para obtenção de polpas de frutas destinadas à industrialização são imprescindíveis tratamentos térmicos, como aquecimento e resfriamento, os mesmos utilizados para inativar as enzimas presentes e retardar os processos metabólicos e microbiológicos. Esses tratamentos demandam equipamentos aquecedores, resfriadores, separadores e embaladores. Portanto, torna-se inevitável o conhecimento das propriedades termofísicas, a exemplo da massa específica, calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica que, por sua vez, dependem da natureza termofísica das matérias-primas (ARAÚJO et al., 2004; LIMA et al., 2003).

A reologia é uma das propriedades físicas de grande interesse para a indústria de polpa de fruta visto que o comportamento reológico representa o comportamento mecânico dos materiais quando em processo de deformação, devido a um campo de tensões. Importantes nos fenômenos relacionados à transferência de massa que têm lugar nos processos industriais, as características reológicas também são imprescindíveis na otimização, no controle e nos cálculos de processos. Esses conhecimentos servem, igualmente, para o desenvolvimento de produtos e para a correlação de parâmetros físicos e sensoriais (FERREIRA et al., 2002).

As propriedades reológicas de produtos alimentares são fundamentais para o desenvolvimento do produto, as quais influenciam no processo de concepção e a avaliação de equipamentos; tais processos envolvem tubulações, bombas, troca de calor, evaporadores, esterilizadores e misturadores. Contudo, o estudo reológico é importante

para identificar o comportamento do alimento sob diferentes condições de processamento (AHMED et al., 2005).

1.1 – Objetivo geral

Caracterizar a polpa de pequi (*Caryocar coriaceum* Wittm.) quanto às propriedades reológicas e termofísicas em diferentes teores de água e temperaturas.

1.1.1 – Objetivos específicos

- Caracterizar a polpa de pequi integral quanto ao teor de água, sólidos solúveis totais, açúcares redutores e não redutores, proteínas, lipídios, pH, acidez total titulável, cinzas, atividade de água, ácido ascórbico e parâmetros de cor.
- Estudar o comportamento reológico da polpa de pequi com teores de água de 55, 60, 65 e 70%, nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C;
- Determinar o calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica das polpas de pequi com diferentes teores de água.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Pequi

A biodiversidade vegetal do cerrado é rica em espécies com elevado valor nutricional, as quais podem suprir a necessidade humana, principalmente a de classes sociais consideradas carentes neste âmbito. Dentre as frutíferas nativas encontradas o pequi merece atenção especial, tanto por sua elevada ocorrência como pelas características sensoriais e nutricionais de seus frutos, que contribuem para o suprimento de parte das exigências nutricionais da população (GONÇALVES et al., 2011).

O Brasil apresenta uma variedade considerável de espécies oleaginosas. Essas espécies podem ser encontradas distribuídas por todo o território nacional. Dentre elas tem-se o pequi, espécie considerada símbolo das regiões de chapada, que possui grande interesse econômico, devido principalmente ao uso de seus frutos na extração de óleos (SANTOS et al., 2006).

A espécie *Caryocar coriaceum* Wittm. é encontrada nos campos do Nordeste enquanto a espécie *Caryocar brasiliense* possui alta incidência no Brasil Central, sendo encontrada em Minas, São Paulo, norte do Paraná, Goiás, Mato Grosso, Tocantins, sul da Bahia, sul do Pará, sul do Maranhão, e em todas as regiões de Cerrado. A espécie *Caryocar brasiliense* Camb é dividida em duas subespécies: *Caryocar brasiliense* subespécie *brasiliense* e *intermedium*, de porte arbustivo com pouca ocorrência em algumas partes desse ecossistema (BRAIT, 2008).

O fruto do pequi (Figura 2.1) da espécie *Caryocar coriaceum* Wittm. é encontrada em áreas de cerrado e cerradão, como na chapada do Araripe, nos estados do Ceará e Pernambuco. O fruto do pequi é constituído de uma polpa rica em vitaminas E e B e a amêndoa é utilizada para extração do óleo. Este fruto tem grande valor econômico sendo uma das principais fontes de alimentação e renda para as comunidades locais. A Chapada do Araripe, em virtude de suas características geográficas com clima mais úmido e chuvoso em relação a outras áreas do Nordeste, apresenta-se como região favorável para a produção do pequi (SOUSA JÚNIOR, 2012).



Figura 2.1 - Fruto do pequizeiro (ARARA, 2011)

A grande riqueza de recursos biológicos do Cerrado é representada por frutíferas nativas, como o pequizeiro, *Caryocar brasiliense* Camb, que se destaca pelo seu elevado potencial econômico e valor nutricional (GONÇALVES et al., 2010), além de ter grande aceitabilidade pela população. Um dos fatores que levam a ser uma espécie considerada de interesse econômico, se refere ao uso de seus frutos na culinária como fonte de vitaminas e na extração de óleos para a fabricação de cosméticos. Os frutos são utilizados na alimentação humana e na indústria caseira para extração de óleos. O caroço, com a polpa (mesocarpo), é cozido com arroz, feijão, carnes, batido com leite, usado na elaboração de licor e para extração de manteiga. O óleo da polpa tem efeito tonificante, atua na cura da gripe, bronquite e no controle de tumores (SILVA NETO & COSTA, 2011). Torna-se uma espécie muito versátil, pois dela praticamente tudo pode ser aproveitado (DAMIANI, 2006).

2.2 - Polpa de pequi e seus constituintes

O Brasil é o maior produtor mundial de frutas *in natura* porém, por serem perecíveis, sua grande maioria dessas frutas se deteriora rapidamente, e sua comercialização é dificultada em virtude, sem dúvida, de longas distâncias nas quais são distribuídas. Por isto, a produção de polpas de frutas congeladas tem-se destacado como importante alternativa para o aproveitamento dos frutos durante a safra, permitindo a estocagem das polpas fora da época de produção dos frutos *in natura* (BRUNINI et al., 2002).

Polpa de fruta é o produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtido de frutos polposos, através de processo tecnológico adequado, com um teor mínimo de sólidos totais, provenientes da parte comestível do fruto (BRASIL, 2000). O mercado de polpas tem apresentado elevado crescimento, com grande potencial mercadológico, especialmente pela variedade de frutas e sabores agradáveis (SANTOS et al., 2008).

De acordo Partelli et al. (2010), o consumo de frutas e vegetais tem sido associado a uma incidência menor e à mortalidade por diversas doenças crônicas como câncer, doenças cardiovasculares e cerebrovasculares, por meio do elevado conteúdo de substâncias com propriedades antioxidantes e protetoras, tais como as vitaminas, sais minerais e pigmentos. Para quantificar essas substâncias faz-se necessário o estudo da composição química dos frutos, o que é de suma importância pois, além de quantificar seus constituintes, facilita a avaliação e forma de consumo na elaboração de novos produtos, tal como também as formas e métodos de processamento para agregar valor sem perder a qualidade nutricional e funcional.

A composição química de um alimento é descrita, geralmente, em termos do seu conteúdo em porcentagem de carboidratos, proteínas, gorduras, cinzas (sais minerais) e água, em que tais constituintes estão diretamente relacionados à sua conservação e à elaboração de produtos, sendo que podem variar de espécie para espécie de acordo com as condições edafoclimáticas e outros fatores (GAVA et al., 2008).

O Pequi é um cariocacea que pode ser encontrado distribuído uniformemente pelo sudeste, regiões do Oeste e Nordeste do Brasil, representando a principal fonte de renda para a população. Recentemente, a fruta ganhou importância nutricional e econômica e seu comércio tem-se expandido para além das fronteiras brasileiras sendo exportado para outros países, incluindo Austrália (ALVES et al., 2010). O fruto é do tipo drupáceo de casca fina verde-acinzentada, grande, às vezes ultrapassando 10 cm de diâmetro com quatro a seis lóculos; o mesocarpo é fibroso; a polpa apresenta coloração de amarelada a alaranjada; é gordurosa e comestível; o endocarpo é duro e lenhoso, muricado ou espinuloso na superfície externa separando-se eventualmente em mericarpos com uma semente. O peso do fruto varia de 30 g a 400 g. Os frutos contêm, em geral, de uma a duas sementes e raramente três a quatro sementes (CARVALHO, 2009).

Tendo em vista o potencial socioeconômico do pequi e sua vasta utilização, é importante conhecer seus constituintes, nos quais existem trabalhos que ressaltam o elevado teor calórico, lipídeos, proteínas, fibras, cinzas, glicídios e, sobremaneira, alto teor

de carotenoides, vitaminas A (beta-caroteno) e vitamina C (GONÇALVES et al., 2010; MIRANDA et al., 2009).

No estudo de Lima et al. (2007), a polpa de pequi se constitui de uma importante fonte de fibra alimentar (10,02%), o consumo frequente pode reduzir alguns problemas patológicos e, desta forma, trazer alguns benefícios à saúde; quanto ao teor de proteínas encontrado, foi de 3%, fornecendo em torno de 358 Kcal/100g, correspondendo às necessidades calóricas de a 18% de um indivíduo adulto com uma dieta de 2.000 Kcal. Para Mariano (2008), foi quantificado o teor de lipídeos da polpa de pequi que apresentou (37,8%) sendo superior ao percentual encontrado para o buriti (9%) e o abacate (8%). Desta forma o pequi tem uma fonte superior de óleos com relação às demais frutas citadas mostrando-se com grande potencial para fornecimento desse constituinte.

Quanto ao teor de minerais encontrados na espécie *Caryocar cariaceum* apresenta, na polpa e na amêndoa, 0,6 e 3,4%, respectivamente, sendo que na polpa o teor de mineral encontrado não foi tão expressivo quando o da amêndoa (OLIVEIRA et al., 2010). Tanto na polpa como na amêndoa do pequi da espécie *Caryocar Brasiliense*, há predomínio dos ácidos graxos insaturados com 61,35% e 52,17%, respectivamente. O ácido oleico está presente em maior concentração na polpa, com 55,87%, sendo seguindo do ácido palmítico (35,17%); assim, ambos possuem ácidos graxos importantes por agir no organismo de forma benéfica (LIMA et al., 2007).

O percentual de pectina é um constituinte relevante para a industrialização e comercialização das frutas e o pequi se destaca entre as frutas nativas do Cerrado por apresentar 2,23% de pectina na polpa. Comparado a outras frutas cultivadas e utilizadas e ingerida pela população, constata-se que o teor de pectina da polpa do pequi é quase semelhante ao da laranja, 2,36% (ALMEIDA et al., 1998).

Santos et al. (2006) afirmaram, ao estudar os constituintes da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) que existem variações nos teores de ácido ascórbico, sendo observados 78,72 mg por 100 g, valor superior ao de frutas tradicionalmente cultivadas e consumidas pela população, como a laranja (40,9 mg.100 g⁻¹) e o limão (26,4mg.100 g⁻¹). Alguns autores destacam que, além do ácido ascórbico, há vários compostos presentes na polpa, dentre eles alto teor de carotenoides, vitaminas A (beta-caroteno) que variam de acordo com o estágio de maturação do fruto e o tipo de processamento ao qual a polpa é submetida, obtendo-se um teor médio de carotenoides encontrado em polpa *in natura* de aproximadamente 231,09 mg/g (RAMOS et al., 2001; RODRIGUES, 2005).

2.3 - Reologia

Na indústria de alimentos e no processamento a que os mesmos são submetidos, a medição da viscosidade permite controlar a qualidade das matérias-primas, avaliar o efeito das variações nas condições de processamento sobre os produtos durante a fabricação e estimar o produto final. Esta medição constitui uma valiosa informação para otimização das propriedades dos produtos na indústria alimentícia, para a redução dos custos nos ingredientes e para garantir uma consistência melhor do produto. Devido à própria natureza do alimento e ao comportamento reológico, faz-se necessário para obtenção de produtos alimentícios com características organolépticas desejáveis, algum tipo de processamento térmico no qual, para as indústrias, chega a ser um desafio estudar o comportamento reológico, pois os alimentos líquidos possuem comportamento reológico bastante complexo (CULLEN, 2012; SCREMIN, 2007).

A reologia é a ciência que estuda a deformação de objetos sob a influência de forças aplicadas. Quando um material sofre estresse, ele se deforma e a taxa e o tipo de deformação caracterizam suas propriedades reológicas (FELLOWS, 2006).

O conhecimento das propriedades reológicas dos alimentos torna-se necessário para uma série de aplicações como: controle de qualidade, conhecimento da estrutura física e, principalmente, controle e dimensionamento de processos industriais (MOURA et al., 2005). A caracterização reológica de alimentos é relevante para o projeto de operações unitárias, otimização de processo e de alta qualidade, para melhor garantia do produto. A reologia é um estudo de suma influência para o tratamento das propriedades reológicas dos alimentos; é portanto, essencial para elaboração eficiente de produtos e também para o processo de design. Portanto, é fundamental estudar o comportamento reológico de polpas de frutas haja vista, serem compostas de uma fase insolúvel (a polpa), sendo a mesma constituída por células de tecidos de frutos e seus fragmentos (AUGUSTO et al., 2012).

De acordo com Bobbio & Bobbio (2001), a reologia é o estudo da mobilidade dos fluidos. Os fluidos podem ser classificados em newtonianos e não-newtonianos; os fluidos newtonianos se comportam como fluidos ideais, isto é, seus componentes não teriam qualquer interação entre si enquanto os não-newtonianos seriam fluidos reais, porém não existem naturalmente fluidos ideais, mas existem fluidos que se aproximam do comportamento ideal como, por exemplo, líquidos puros, soluções diluídas e poucos sistemas coloidais. A reologia dos fluidos é estudada em especialmente por meio da medida da viscosidade ou seu inverso, a fluidez.

A viscosidade é considerada a principal propriedade reológica de um fluido. Em muitas operações das indústrias de alimentos conhecer a viscosidade do fluido é essencial para a definição do equipamento mais apropriado. O termo viscosidade é comumente utilizado para fluidos newtonianos enquanto para fluidos não-newtonianos o termo mais apropriado a se utilizar é a viscosidade aparente, a qual depende apenas da magnitude da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento (SCREMIN, 2007).

Segundo Oliveira et al. (2011), o comportamento reológico dos sucos de frutas não pode ser descrito por uma equação newtoniana. Deste modo, apenas os fluidos não newtonianos podem descrever o comportamento de polpas e os mesmos são classificados conforme os aspectos dos reogramas, representação gráfica da tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$), e a viscosidade dos mesmos não é única, variando com a magnitude da taxa de cisalhamento.

2.3.1 - Fluido newtoniano

Um fluido que evidencie um comportamento newtoniano é caracterizável por uma relação de proporcionalidade direta entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, sendo η a constante de proporcionalidade significa a viscosidade do fluido. Em condições estáveis de temperatura e de pressão esta viscosidade é uma propriedade do material que é facilmente medida (FERREIRA, 2006).

Nos fluidos newtonianos a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação (Equação 2.1), de modo que a viscosidade (μ) do sistema independe da taxa de deformação e da tensão de cisalhamento, à mercê apenas da composição e da temperatura, enquanto o escoamento se inicia assim que a tensão é aplicada (FERREIRA, 2008).

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

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

μ - viscosidade (Pa s)

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

No fluido newtoniano ocorrem apenas efeitos de atrito mecânico e o nível energético dessas interações se aproxima do nível energético para ruptura e formação de pontes de hidrogênio num líquido (IZIDORO, 2007). Entre os alimentos que possuem comportamento de fluidos Newtonianos, tem-se bebidas destiladas, refrigerantes artificiais, leite, óleos, soluções de sacarose e de vários sais (BOBBIO & BOBBIO, 2001).

2.3.2 - Fluidos não-newtonianos

Os fluidos não-newtonianos são caracterizados como aqueles cuja relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, não é linear, podendo ser classificados em viscoelásticos, independentes do tempo e dependentes de tempo (SATO, 2009). Podem, ainda, ser classificados de acordo com a viscosidade aparente que varia com a taxa de deformação, ou seja, se ela aumenta ou diminui com o aumento da taxa de deformação (TONELI et al., 2005). A Figura 2.2 mostra diferentes comportamentos dos fluidos não-newtonianos independentes de tempo.

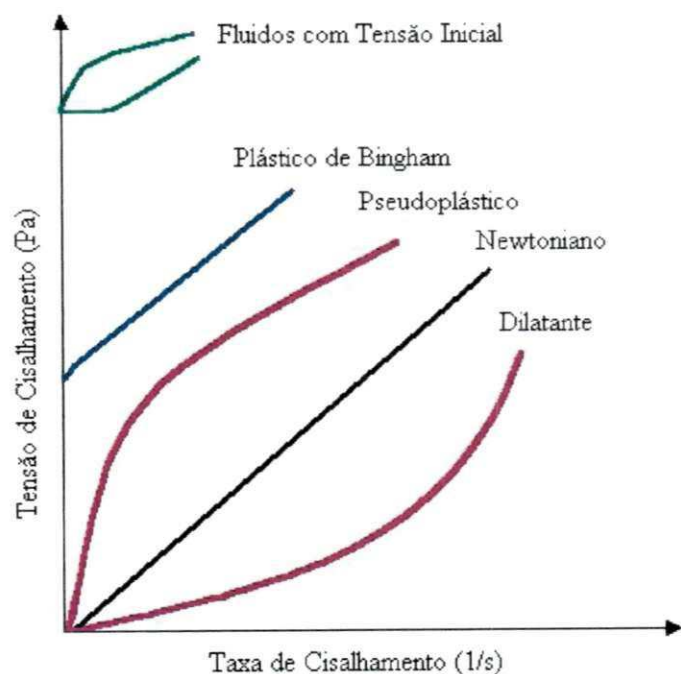


Figura 2.2 - Comportamento reológico de fluidos, independentes do tempo (SHARMA et al., 2000)

Dentro da classificação de fluidos não-newtonianos se enquadram os dilatantes, pseudoplásticos e plásticos de Bingham, segundo Guzey & McClements (2007). Os fluidos dilatantes se caracterizam por apresentar aumento da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação (TONELI et al., 2005). No grupo dos fluidos pseudoplásticos se encontra a maioria dos fluidos de comportamento não-newtoniano (VITAL, 2000). No fenômeno caracterizado pela curva referente ao fluido pseudoplástico, a viscosidade aparente diminui com a taxa de deformação e $0 < n < 1$ (n = índice de comportamento). Muitas substâncias, como emulsões, suspensões ou dispersões de alta importância técnica e comercial, pertencem a este grupo (HAMINIUK, 2005).

Os plásticos de Bingham apresentam tensão inicial, em que o fluido apresenta uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Os exemplos mais comuns na indústria alimentícia são: catchup, mostarda, maionese, margarina, espuma de proteína e mel (BOBBIO & BOBBIO, 2001)

Há fluidos que exibem algumas características de sólidos, são os chamados viscoelásticos. Os fluidos viscoelásticos são substâncias que apresentam propriedades viscosas e elásticas associadas. Quando cessa a tensão de cisalhamento ocorre certa recuperação da deformação. Os alimentos que podem ser citados são: amido, gelatinas e queijos (PEREIRA, 2005). Também quase todas as soluções de polímeros, mesmo diluídas, apresentam comportamento viscoelástico e, muitas vezes, este comportamento não é detectado por instrumentos não configurados para essas medidas. A clara de ovo pode ser citada como exemplo típico de alimento com comportamento viscoelástico (VIDAL, 2000).

Bernardi (2008) afirma que fluidos dependentes do tempo são aqueles em que a tensão de cisalhamento é função tanto da taxa de deformação como do tempo de escoamento. Esses fluidos são geralmente classificados como tixotrópicos e reopéticos, dependendo se a tensão diminui ou aumenta com o tempo em determinada taxa de deformação, respectivamente. Comportamentos tixotrópicos e reopéticos são comuns em suspensões de sólidos ou agregados coloidais em líquidos comumente encontrados em produtos alimentícios.

Os fluidos tixotrópicos e reopéticos exibem histerese, isto é, a viscosidade dos sistemas em um tempo (t) não é a mesma quando medida no tempo ($t + \Delta t$). Dentre os alimentos que apresentam comportamento tixotrópico, estão os geis, geis de alginato e certos tipos de mel. O tixotropismo pode ser atribuído à presença de ligações de hidrogênio presentes entre micelas coloidais e que, rompidas pela agitação, voltam a se formar no

sistema em repouso (BOBBIO & BOBBIO, 2001). O comportamento desses fluidos pode ser identificado de acordo com a Figura 2.3.

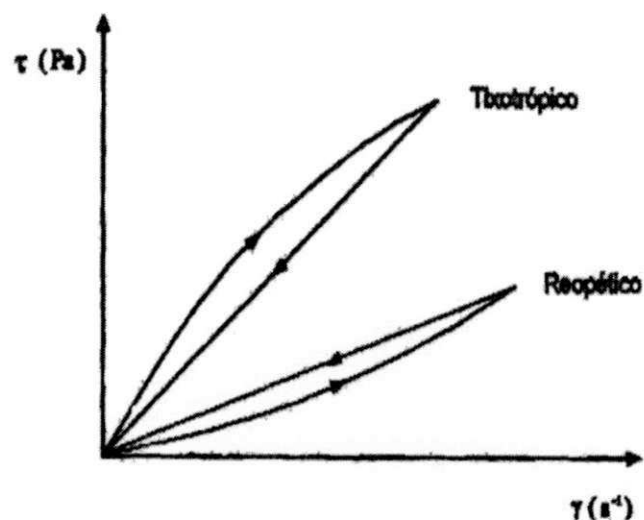


Figura 2.3 - Curvas de escoamento de fluidos não newtonianos de propriedades dependentes do tempo de cisalhamento (TONELI et al., 2005)

Conforme Silva (2008), a descrição da reologia dos fluidos não-newtonianos é feita através de modelos empíricos usados para relacionar os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação. Este uso varia de acordo com o comportamento das polpas ou material estudado.

Os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH e índice de maturação. São indispensáveis ao controle de qualidade, em linhas de produção e ao projeto e no dimensionamento de equipamentos. Dependendo do modelo utilizado, possuem ou não tensão inicial (VIDAL, 2000). Os modelos mais utilizados para uma análise mais detalhada são: Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk, Casson e Plástico de Bingham. No estudo de Pelegri et al. (2000), o modelo reológico proposto por Mizrahi & Berk é o que melhor se tem ajustado à maioria dos reogramas das polpas, sucos e purês de frutas.

Vriesmann et al. (2009) verificaram, ao estudar as propriedades reológicas e químicas de uma fração rica em amido extraído da polpa do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) que o modelo mais adequado para descrever o comportamento reológico das

amostras foi o de Herschel-Buckley. Em seu estudo, Gratão et al. (2007) observaram, para o comportamento reológico de suco de graviola, que o modelo da Lei da potência foi ajustado satisfatoriamente aos dados.

Melo et al. (2008) constataram, estudando o comportamento reológico da polpa de buriti com leite, que o modelo reológico de Mizrahi-Berk foi o que melhor se ajustou às curvas de tensão de cisalhamento, em função da taxa de deformação.

2.3.3 - Efeito da temperatura

A temperatura é um parâmetro relacionado com a energia interna da substância ou mistura. A experiência tem mostrado que a viscosidade de um líquido é altamente influenciada por mudanças da temperatura. A viscosidade dos líquidos incompressíveis varia inversamente com a temperatura absoluta apresentando comportamento exponencial (OLIVEIRA et al., 2011). Em geral, o efeito da temperatura na viscosidade aparente (η), a uma taxa de deformação, tem sido expresso por meio da Equação de Arrhenius, conforme a Equação 2.2.

$$\eta = \eta_0 \exp \left[-\frac{E_a}{RT} \right] \quad (2.2)$$

sendo:

η - viscosidade aparente (mPa s)

η_0 - viscosidade aparente inicial (mPa s)

T - temperatura absoluta (K)

R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol.°C)

E_a - energia de ativação para viscosidade (kJ/mol)

A Equação de Arrhenius mostra a tendência da viscosidade de acordo com a temperatura; vale ressaltar que com o aumento da temperatura a viscosidade aparente diminui. Em geral, uma alta energia de ativação de fluxo implica em que pequenas variações de temperatura são necessárias para modificar rapidamente a viscosidade (STEFFE, 1996).

A energia de ativação é um parâmetro que indica a sensibilidade da viscosidade devido à mudança de temperatura cujos maiores valores da energia de ativação significam

que a viscosidade é relativamente mais sensível à mudança de temperatura (PEREIRA et al., 2003).

Silva et al. (2005) encontraram, ao estudar o efeito da concentração e temperatura em suco de acerola, a energia de ativação variou de $1,79 \text{ kJ}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, a 16 °Brix a $3,50 \text{ kJ}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ para as amostras a 4°Brix, ocorrendo uma diminuição da energia de ativação com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis das amostras. Grangeiro et al. (2007) observaram, ao estudar a viscosidade de polpa de figo-da-índia, que os valores de energia de ativação foram de 3,04 a $10,64 \text{ kJ g}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ e que não variaram com a velocidade de rotação, assim como as energias de ativação também não foram influenciadas pela concentração das amostras.

Em seu estudo, Ferreira et al. (2008) apresentaram, sobre o efeito da temperatura e taxa de cisalhamento nas propriedades de escoamento da polpa de cupuaçu a energia de ativação em diferentes taxas de deformação, variação da menor taxa de deformação $1,05 \text{ kJ}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ para a maior taxa de deformação, de $1,79 \text{ kJ}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

Haminiuk et al. (2006) constataram, avaliando a influência da temperatura sobre o comportamento reológico da polpa de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) que, de acordo com a equação de Arrhenius, houve uma boa descrição do efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa numa taxa de deformação constante e a energia de ativação apresentou valor de $11,03 \text{ kJ}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

2.4 - Propriedades termofísicas

No País, o aumento da demanda por produtos alimentícios traz algumas consequências, dentre elas a exigência de modernização, adequação tecnológica e maior qualidade para as indústrias. O seu comprimento ocorre devido às informações científicas sobre o processamento dos alimentos, o conhecimento das propriedades físicas para os cálculos dos processos aos quais os mesmos podem ser submetidos (MOURA et al., 2005).

O conhecimento das propriedades termofísicas é importante para o desenho e dimensionamento de equipamentos e a otimização dos processos térmicos aos quais são submetidos determinados produtos alimentícios (KASAHARA, 1986).

O dimensionamento dos equipamentos utilizados no processamento de alimentos, principalmente os pasteurizadores e outros que requerem bombeamento do produto, exigem 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).

Desta maneira, e como as polpas de frutas na forma de matéria-prima destinada à industrialização estão sujeitas aos processos de aquecimento e ao resfriamento, é interessante que se determinem suas propriedades termofísicas. Isto melhoraria a situação do comércio de frutas, em especial para o Brasil, um país que se destaca pela elevada produção no gênero (SOUZA, 2008).

2.4.1 - Calor específico

O calor específico é definido como a quantidade de calor que ganha ou perde determinada massa de produto para sofrer determinada mudança de temperatura. No entanto, para definir completamente calor específico deve-se especificar as condições segundo as quais o calor é transferido para o sistema. Neste sentido, é um importante parâmetro termodinâmico para determinação da quantidade de energia a ser adicionada ou removida em processos de aquecimento e resfriamento (SILVA, 2008; ARAÚJO et al., 2004).

Muitos métodos utilizados para determinar calor específico, se baseiam no equilíbrio térmico estabelecido entre um primeiro corpo, com que se pretende determinar o calor específico e um segundo corpo de calor específico conhecido (SIMÕES, 1997). Alguns autores realizaram experimentos usando a metodologia de calorímetro de mistura, por exemplo: Borém et al. (2002) na determinação do calor específico do café cereja e Silva et al. (2002) em estudo do resfriamento da polpa de cajá.

As Equações apresentadas na Tabela 2.1 foram propostas por diversos autores para determinação do calor específico teórico em alimentos.

Tabela 2.1 - Equações usadas para calcular calor específico teórico de alimentos

Equação	Fonte
$C_p = 0,837 + 3,349.X_w$	Kasahara (1986)
$C_p = 1,675 + 2,512.X_w$	Dickerson (1968)
$C_p = 1,465 + 2,721.X_w$	Choi & Okos (1986)

Em que: C_p - calor específico (kJ/kg °C); X_w - fração mássica da água (adimensional); T - temperatura (°C)

Lima et al. (2003) encontraram, ao determinar o calor específico da polpa de umbu, os valores: 3,67 kJ/kg °C a 10 °C, 3,48 kJ/kg °C a 20 °C e 3,21 kJ/kg °C a 30 °C nas concentrações de 10, 20 e 30 °Brix da polpa, ocorrendo diminuição com aumento do teor de sólidos solúveis.

Em estudo feito por Muniz et al. (2006) determinou-se o calor específico das polpas de bacuri utilizando-se um calorímetro de mistura, de acordo com os resultados obtidos, na amostra com 5,0 °Brix, o calor específico foi de 3,616 kJ/kg °C e na amostra com 20,0 °Brix foi de 2,986 kJ/kg °C. Portanto, houve uma redução do calor específico com aumento da concentração.

Muramatsu et al. (2010), mediram as propriedades termofísicas de três tipos de sucos (uva, pepino e laranja), sob temperaturas de 10 a 50 °C e concentrações de 10 a 50% e verificaram que os valores de calor específico aumentaram com o aumento da temperatura e diminuíram com o aumento da concentração.

2.4.2 - Difusividade térmica

Diversas etapas de industrialização de produtos alimentícios envolvem processos de transferência de calor, tornando-se imprescindível o conhecimento das propriedades termofísicas do produto. Portanto, é de grande interesse o conhecimento dessas propriedades, inclusive a difusividade térmica do produto (DANTAS JÚNIOR et al., 2007).

A difusividade térmica (α) é a razão entre a condutividade térmica e a capacidade calorífica volumétrica; a difusividade térmica mede a capacidade do material de conduzir energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la. Materiais com elevadas difusividades térmicas responderão rapidamente às mudanças nas condições térmicas a eles impostas enquanto materiais com reduzidas difusividades térmicas responderão mais lentamente, levando mais tempo para atingir uma nova condição de equilíbrio (INCROPERA et al., 2008). Tres et al. (2011) relataram que é uma importante propriedade de transporte necessária na modelagem nos cálculos de transferência de calor transiente em diferentes operações básicas de processamento de alimentos, como o processamento térmico, resfriamento e congelamento.

Conforme Jaramillo-flores & Hernandez-sanchez (2000) a difusividade térmica de um alimento depende da sua composição; dentre os parâmetros tem-se o conteúdo de água, a estrutura e a temperatura. Nos processos de pasteurização ou esterilização, tanto quanto

no processo de congelamento onde não é esperada uma mudança de composição, ocorre mudança na temperatura e, por vezes, alteração na estrutura e no valor da difusividade térmica. A difusividade térmica pode ser obtida por técnica de aquecimento transiente, segundo o método de Dickerson (1965) através da qual se calcula, por meio da Equação 2.5:

$$\alpha = \frac{ARc^2}{4(T_s - T_c)} \quad (2.5)$$

em que:

α - difusividade térmica (m²/s)

A - taxa de aquecimento (°C/s)

R_c - raio do cilindro/Cápsula (m)

T_s - temperatura na superfície da cápsula de raio R (°C)

T_c - temperatura no centro da amostra (°C)

Existem várias equações na literatura utilizadas para o cálculo da difusividade térmica, as quais se encontram da Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Equações de difusividade térmica teórica

Produto	Equação	Fonte
Alimentos em geral	$\alpha = (0,057363.X_w + 0,000288.T).10^{-6}$	Martes (1980)
Alimentos em geral	$\alpha = 0,088.10^{-6} + (\alpha_w - 0,088.10^{-6}.X_w)$	Riedel (1969)
Suco de laranja	$\alpha = 7,9683.10^{-8} + 5,9839.10^{-8}.X_w + 0,02510.10^{-8}.T$	Telis - Romero (1998)
Suco de abacaxi	$\alpha = 8,29.10^{-8} - 5,27.10^{-8}.X_w + 2,76.10^{-10}$	Giraldo-Gómex et al. (2010)

Sendo que: α - difusividade térmica; X_w - fração mássica da água (adimensional); α_w - Difusividade da água (20°C); T - temperatura (°C)

A difusividade térmica vem sendo determinada por diversos autores através do método proposto por Dickerson (1965), dentre estes Lima et al. (2003) constataram,

trabalhando com propriedades termofísicas da polpa de umbu, que a difusividade térmica diminuiu com o aumento da concentração verificando que, para as concentrações de 10, 20 e 30°Brix, os valores obtidos foram, respectivamente, de $1,52 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, $1,45 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,35 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Souza (2008) obteve, estudando a difusividade térmica de quatro polpas de frutas (framboesa, amora, mirtilo e morango) com diferentes teores de açúcares, os seguintes resultados: framboesa 1,43 a $1,65 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, amora 1,41 a $1,60 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, mirtilo 1,40 a $1,72 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e morango 1,45 a $1,71 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, sendo essas polpas sem adição de açúcar; com adição de açúcar de 4,75% obteve os seguintes resultados: framboesa 1,42 a $1,61 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, amora 1,43 a $1,52 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, mirtilo 1,40 a $1,73 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e morango 1,37 a $1,63 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$; adicionando açúcar a 9,08% o autor observou, para framboesa, 1,37 a $1,64 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, amora 1,47 a $1,60 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, mirtilo 1,40 a $1,71 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e morango 1,40 a $1,70 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ constatando que, quanto menor o percentual de açúcar acrescentado nas polpas maior a difusividade térmica das amostras.

Mercali et al. (2011) ao analisar as propriedades termofísicas da polpa de acerola e mirtilo, ambas com 14, 24 teor de sólidos solúveis obtiveram, respectivamente, $1,52 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,51 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ de difusividade térmica, valores esses aproximados e geralmente encontrados em polpas com elevado teor de água.

2.4.3 - Condutividade térmica

É uma propriedade do material que descreve a taxa com que o fluxo de calor escoou sobre a influência de um gradiente de temperatura descrita pela equação de Fourier da condução de calor (INCROPERA et al., 2008) conforme a Equação 2.6.

$$q_x = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.6)$$

sendo:

q_x - taxa de calor (w)

A - área de transferência de calor normal ao fluxo de calor (m^2)

K - constante de proporcionalidade da condutividade térmica ($\text{W}/\text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$)

$\Delta T/\Delta x$ - gradiente de temperatura ao longo da direção do fluxo de calor (K/m)

Na Tabela 2.3 se encontram os modelos propostos por autores diversos para estimar a condutividade térmica de produtos alimentícios.

Tabela 2.3 - Equações usadas para o cálculo da condutividade térmica teórica de alimentos

Produto	Equação	Fonte
Suco de frutas	$K = 0,140 + 0,42 \cdot X_w$	Kolarov & Gromov (1973)
Suco de laranja	$K = 0,0797 + 0,538X_w + 0,000580 \cdot T$	Telis–Romero et al. (1998)

Sendo que: K - condutividade térmica; X_w - fração mássica da água (adimensional); T - temperatura (°C); M - teor de água (%)

A condutividade térmica depende principalmente da composição do produto, incluindo a presença de espaços vazios e do grau de homogeneidade estrutural (ARAÚJO et al., 2004), a qual varia com o tipo de material, temperatura e teor de umidade, uma vez que os materiais biológicos não são homogêneos e variam na composição química e no conteúdo de água ocasionando variações na condutividade térmica. Os valores numéricos da condutividade térmica podem variar de acordo com a composição química, estrutura física, estado, massa, temperatura e teor de umidade do material (PARK et al., 1997). Em líquidos, a condutividade é relativamente independente da pressão, mas é bastante dependente da temperatura (SILVA, 1997).

Todavia, a condutividade térmica é considerada uma das propriedades físicas mais importantes de um material. Sua determinação experimental apresenta algumas dificuldades e requer alta precisão na determinação (SANTOS, 2005). Por ser um propriedade que está diretamente relacionada com a troca de calor de um material, existem dois métodos que são utilizados para determinar que são: métodos estacionários e não estacionários. Métodos estacionários são aqueles que medem a condutividade térmica em regime estacionário de troca de calor. Os métodos de estado estacionário podem ser divididos em: método das placas paralelas, método do cilindro concêntrico e método da esfera concêntrica (PARK et al., 1997). Já os métodos não estacionários medem a condutividade térmica durante um regime transiente de troca de calor. O procedimento usual consiste em se aplicar um fluxo de calor constante da fonte para o material, inicialmente em equilíbrio e medir a elevação de temperatura em algum ponto do material (SANTOS, 2005).

Para Oliveira (2009), a técnica mais citada para medir a condutividade térmica em alimentos no estado transiente, é baseada numa sonda linear de aquecimento devido à sua conveniência, rapidez, baixo custo e adequado para pequenas amostras. Esta técnica consiste basicamente de um fio aquecedor e um sensor de temperatura.

Sarria & Honório (2004) encontraram, estudando a condutividade térmica do figo (*Ficus carica* L.) o valor médio de 0,52 W/m °C. Oliveira et al. (2001) constataram, ao estudar a condutividade térmica do suco de laranja com 0,89 % de teor de água, 0,565 W/m °C de condutividade térmica. Araújo et al. (2004) avaliando as condutividades térmicas em amostras de cupuaçu integral, 9 °Brix e peneiradas relataram valores de 0,44 W/m °C, 0,50 W/m °C e 0,42 W/m °C, respectivamente. Em estudo feito por Vieira (1996), o valor de condutividade térmica encontrada para suco de laranja foi de 0,556 W/m °C; ao comparar os trabalhos citados constatam-se valores aproximados havendo, em comum, o fato de serem todos relativos a polpas de frutas.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

3.1 - Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi pequi (*Caryocar coriaceum Wittm.*), colhidos na safra de janeiro de 2011, na região da Chapada do Araripe, localizada no sul do Estado do Ceará.

3.2 - Processamentos dos frutos e preparo das amostras

Os frutos foram despulpados em despulpadeira de aço inox. A polpa integral obtida foi embalada em sacos plásticos de polietileno hermeticamente fechados e congelada em freezer a -20 °C.

3.3 - Análises químicas, físicas e físico-químicas da polpa de pequi integral

3.3.1 - Teor de água

Foi determinado em estufa a vácuo a 70 °C por 24 horas até peso constante (INSTITUTO ALDOLFO LUTZ, 2008).

3.3.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix)

Foi utilizado um refratômetro portátil do tipo Abbe (INSTITUTO ALDOLFO LUTZ, 2008).

3.3.3 - Açúcares totais, redutores e não redutores

Os açúcares totais, redutores e não redutores foram determinados em triplicata de acordo com as metodologias descritas no manual do Instituto Aldolfo Lutz (2008). Os resultados dos açúcares totais e redutores foram expressos em % de glicose e os açúcares não redutores em % sacarose.

3.3.4 - Proteínas

A determinação foi por meio da digestão da amostra em H_2SO_4 , liberação da amônia por adição de NaOH e titulação da amônia com HCl (INSTITUTO ALDOLFO LUTZ, 2008).

3.3.5 - Lipídios

O material gorduroso foi extraído com hexano em refluxo por 6h, em aparelho de Soxhlet; posteriormente, o material gorduroso retido no balão foi para estufa a 105 °C durante 2 horas, de acordo com o Instituto Aldolfo Lutz (2008).

3.3.6 - pH

Foi determinado pelo método potenciométrico, em peagômetro da marca Tecnal, modelo TEC-2, calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 (INSTITUTO ALDOLFO LUTZ, 2008).

3.3.7 – Acidez total titulável (ATT)

Foi determinada titulando-se a amostra com solução de hidróxido de sódio 0,1mol/L e se utilizando fenolftaleína como indicador (INSTITUTO ALDOLFO LUTZ, 2008).

3.3.8 - Cinzas

Foram quantificadas por incineração em mufla a 550 °C, em que o material orgânico se decompõe e resta apenas o resíduo mineral (INSTITUTO ALDOLFO LUTZ, 2008).

3.3.9 - Atividade de água (a_w)

Realizou-se a leitura da atividade de água em equipamento *Aqualab* 3TE (Decagon Devices), com amostras a 25 °C, em triplicata.

3.3.10 – Ácido ascórbico

O ácido ascórbico (mg/100 g), foi determinado por titulometria utilizando-se solução de 2,6 diclofenolindofenol-sódio (DCFI) até obtenção de coloração róseo claro permanente, segundo o método apresentado pela AOAC (1997) e modificado por Benassi & Antunes (1998) utilizando como solução extratora o ácido oxálico .

3.3.11 - Cor

Foi determinada em espectrofotômetro da marca Hunter Lab, Mini Scan XE Plus, modelo 4500L, expressa em termos luminosidade (L^*), intensidade de vermelho ($+a^*$) e intensidade de amarelo ($+b^*$). As leituras das amostras foram feitas em triplicata utilizando-se o sistema com luminosidade D65 e ângulo de observação de 10° .

3.4 -Preparação das amostras para determinação das propriedades reológicas e termofísicas

A partir da polpa integral, que tinha teor de água de 80%, a mesma foi concentrada por meio de um evaporador rotativo da marca QUIMIS, modelo Q-344B2, equipado com uma bomba a vácuo, da mesma marca, modelo Q-355D2, com o banho do evaporador permanecendo na temperatura de 60°C , produzindo-se polpas de pequi com diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%).

Quanto às polpas de pequi com os diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%) determinaram-se as propriedades reológicas e termofísicas dessas amostras.

3.4.1 - Comportamento reológico

A determinação do comportamento reológico da polpa de pequi com diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%) foi feita a partir de leituras de viscosidade aparente, tensão de cisalhamento e taxa de deformação em viscosímetro do modelo Brookfield DV-II+PRO, nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50°C , nas velocidades de rotação de 0,3 a 10 rpm para polpas nos teores de água (55, 60, 65 e 70%) e o *Spindle* utilizado foi o de número 29; as leituras foram feitas depois de transcorridos os primeiros 30 segundos de cisalhamento.

3.4.2 - Viscosidade aparente

Para avaliação dos dados obtidos da viscosidade aparente das polpas com os diferentes teores de água, foram utilizadas seis rotações 1,8, 2,0, 2,5, 3,0, 4,0 e 5,0 rpm e para avaliação dos dados da viscosidade aparente aplicou-se o esquema fatorial $5 \times 6 \times 3$ (teor de água, velocidade de rotação, repetições) com a comparação entre as médias pelo teste de Tukey, utilizando-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.6.

Os valores de viscosidade aparente e da taxa de deformação foram ajustados ao modelo de Sisko (Equação 3.1), nas rotações de 0,07 a 10 rpm e taxa de $0,018$ a $9,3 \text{ s}^{-1}$.

Este modelo reológico foi usado por Nindo et al. (2005) e Kechinski et al. (2011) para mostrar o comportamento da viscosidade aparente de polpas e purê de frutas

$$\eta = K_s \cdot \dot{\gamma}^{n_s-1} + \eta_{\infty} \quad (3.1)$$

sendo:

η - viscosidade aparente (Pas)

K_s - índice de consistência de Sisko (Pas)

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

η_{∞} - viscosidade a taxa de cisalhamento infinita (Pas)

n_s - índice de comportamento do fluido (adimensional)

3.4.3 - Modelos reológicos

Aos valores experimentais de tensão de cisalhamento e da taxa de deformação foram ajustados os modelos reológicos de Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Vocadlo nas velocidades de rotação de 0,07 a 10 rpm, de acordo com as Equações: 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6, respectivamente. Para o ajuste dos modelos reológicos aos dados experimentais da polpa de pequi usou-se o programa STATISTICA versão 5.0.

Lei da Potência ou Modelo de Ostwald-de-Waelle

$$\tau = K \cdot (\dot{\gamma})^n \quad (3.2)$$

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)

Casson

$$\tau^{1/2} = k_{oc} + k_c \dot{\gamma}^{1/2} \quad (3.3)$$

donde:

τ - tensão de Cisalhamento (Pa)^{1/2}

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

K_c - viscosidade plástica de Casson ($Pa s$)^{1/2}

K_{oc} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)^{1/2}

Modelo Herschel-Bulkley

$$\tau - \tau_{0H} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3.4)$$

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 sⁿ)

n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Modelo Mizrahi-Berk

$$\tau^{0.5} = k_{oM} + k_M \dot{\gamma}^{n^1} \quad (3.5)$$

donde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

k_{oM} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

k_M - índice de consistência (Pa sⁿ)

n_M - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Modelo de Vocado

$$\tau = (\tau_{oV}^{\frac{1}{n_V}} + K_V \dot{\gamma})^{n_V} \quad (3.6)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

K_V - índice de consistência (Pa sⁿ)

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

n_V - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Foram utilizados, como critério de determinação de melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculados conforme a Equação 3.7:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_{exp} - X_{teor}}{X_{exp}} \right| \quad (3.7)$$

sendo:

P - desvio percentual médio (%)

X_{exp} - valores obtidos experimentalmente

X_{teor} - valores preditos pelo modelo

n - número de dados experimentais

3.4.4 - Efeito da temperatura

Para avaliar o efeito da temperatura sobre os valores das viscosidades aparentes das polpas de pequi com diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%) aplicou-se a Equação de Arrhenius (Equação 3.8) com auxílio do programa computacional ORIGIN 6.0.

$$\eta = \eta_0 \exp \left[-\frac{E_a}{RT} \right] \quad (3.8)$$

em que:

η - viscosidade aparente (mPa s)

η_0 - viscosidade aparente inicial (mPa s)

T - temperatura absoluta (K)

R - constante universal dos gases (0,008314kJ/mol.°C)

E_a - energia de ativação para viscosidade (kJ/mol)

3.5 - Propriedades termofísicas

As polpas de pequi com os teores de água de 55, 60, 65 e 70% foram submetidas às determinações de calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica.

3.5.1 - Calor específico

As determinações do calor específico das polpas de pequi com diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%) foram feitas por meio do método de mistura calorimétrica (MOHSENIN, 1980). O calorímetro de mistura utilizado foi construído com uma ampola de garrafa térmica comercial, inserida em um tubo plástico de 200 mm de diâmetro. O

espaço entre a ampola e o cilindro plástico foi preenchido com lã de vidro para garantir o máximo de isolamento térmico. O fechamento da ampola é feito com rolha de borracha com um furo no centro, por onde passa a haste do termopar para aferição da temperatura interna.

Inicialmente fez-se a calibração do calorímetro com água destilada na faixa de temperatura utilizada no experimento (10 a 50 °C); após calibração do calorímetro as polpas de pequi foram submetidas a determinação do calor específico nas temperaturas de 10 a 50 °C, sendo necessário registrar a temperatura da água 30 °C (T₁), temperatura da água resfriada 15 °C (T₂), a temperatura de equilíbrio após homogeneização das águas (T₃) e a temperatura da amostra que foi de 10 a 50 °C. Para controle da temperatura das amostras foi usado um banho-maria ultratermostático modelo SL 152/10 da marca Solab.

Para calcular o calor específico das amostras fez-se uso das Equações (3.9 e 3.10), sendo que a primeira foi usada para determinar a capacidade calorífica do calorímetro.

$$C_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{cal} (T_1 - T_3) = C_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (3.9)$$

donde:

C₁ e C₂ - calor específico da água (kJ/kg °C)

m₁ - massa de água a temperatura ambiente (g)

m₂ - massa de água refrigerada (g)

T₁ - temperatura da água 30 °C

T₂ - temperatura da água resfriada 15 °C

T₃ - temperatura de equilíbrio (°C)

C_{cal} - capacidade calorífica do calorímetro (kJ/kg °C)

Usa-se a Equação 3.10 para calcular o calor específico das amostras:

$$m_p C_p (T_4 - T_5) = C_1 m_3 (T_5 - T_3) + C_{cal} (T_5 - T_3) \quad (3.10)$$

sendo:

m_p - massa do produto(g)

C_p - calor específico do produto (kJ/kg°C)

C₁ - calor específico da água (kJ/kg°C)

m₃ - soma das massas m₁ e m₂

T₄ - temperatura inicial da polpa (°C)

C_{cal} - capacidade calorífica do calorímetro

T_3 - temperatura de equilíbrio (°C)

T_5 - temperatura de equilíbrio (°C)

O calor específico teórico das polpas foi determinado de acordo com as Equações dispostas na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Equações usadas para calcular o calor específico teórico

Equação	Fonte
$C_p = 0,837 + 3,349.X_w$	Kasahara (1986)
$C_p = 1,465 + 2,721.X_w$	Choi & Okos (1986)
$C_p = 1,675 + 2,512.X_w$	Dickerson (1968)

Em que: C_p = calor (kJ/kg°C); X_w = fração mássica da água (adimensional)

3.5.2 - Difusividade térmica

A determinação da difusividade térmica das polpas de pequi com diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%) foi determinada com base no método de Dickerson (1965), empregando-se uma cápsula metálica de latão cromado, isolada termicamente nas extremidades e com dois termopares acoplados, um para verificar a temperatura interna no centro da cápsula e outro na sua superfície, de modo a registrar as variações na temperatura da amostra. A cápsula foi preenchida com a amostra e mergulhada em banho termostático com agitação mecânica. A difusividade térmica foi calculada de acordo a Equação 3.11.

$$\alpha = \frac{ARc^2}{4(T_s - T_c)} \quad (3.11)$$

em que:

α - difusividade térmica (m²/s)

A - taxa de aquecimento (°C/s)

R_c - raio do cilindro/Cápsula(m)

T_s - temperatura na superfície da cápsula de raio R(°C)

T_c - temperatura no centro da amostra (°C)

Para calcular a difusividade foi determinada a taxa de aquecimento da amostra plotando-se os dados da temperatura interna (T_c) e externa (T_s) do cilindro, obtendo-se o coeficiente angular da reta, que é a constante da velocidade de aquecimento (A) do banho.

A diferença entre $(T_s - T_c)$ foi obtida quando as curvas (T_s) e (T_c) se tornaram paralelas entre si, o que ocorre quando os dados satisfazem as condições da Equação 3.12.

$$|(T_s - T_c)_i - (T_s - T_c)_{i+1}| \leq 0,1^\circ\text{C} \quad (3.12)$$

logo:

T_s - temperatura na superfície do cilindro-C

T_c - temperatura do centro do cilindro-C

As difusividades térmicas teóricas das polpas de pequi foram calculadas por meio de Equações, conforme a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Equações de difusividade térmica teórica

Produto	Equação	Fonte
Alimentos em geral	$\alpha = (0,057363.X_w + 0,000288.T).10^{-6}$	Martens (1980)
Alimentos em geral	$\alpha = 0,088.10^{-6} + (\alpha_w - 0,088.10^{-6}.X_w)$	Riedel (1969)
Suco de laranja	$\alpha = 7,9683.10^{-8} + 5,9839.10^{-8}.X_w + 0,02510.10^{-8}.T$	Telis Romero (1998)
Suco de abacaxi	$\alpha = 8,29.10^{-8} - 5,27.10^{-8}.X_w + 2,76.10^{-10}$	Giraldo-Gómez et al. (2010)

Sendo que: α - difusividade térmica (m^2/s); X_w - fração mássica da água (adimensional); α_w - difusividade da água (20°C); T -temperatura ($^\circ\text{C}$)

3.5.3 - Condutividade térmica

As condutividades térmicas (k) das polpas de pequi com diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%) nas temperaturas de 10 a 50°C , foram determinadas utilizando-se um sensor térmico, o KD2 (Decagon Inc., modelo KD2). sendo a condutividade térmica expressa em $\text{W m}^{-1}\text{C}^{-1}$.

Para estimativa da condutividade térmica das polpas foram utilizadas as equações que se encontram na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Equações para cálculo da condutividade térmica teórica

Produto	Equação	Fonte
Suco de frutas	$K = 0,140 + 0,42.Xw$	Kolarov & Gromov (1973)
Suco de maçã	$K = 0,27928 - 3,5722.10^{-3} .B + 1,1357.10^{-3} .T$	Constenla (1989)
Suco de laranja	$K = 0,0797 + 0.538Xw + 0,000580.T$	Telis–Romero et al. (1998)

Sendo que: K - condutividade térmica (W/m °C); Xw - fração mássica da água (adimensional); T - temperatura (°C); B - °Brix

3.5.4 – Tratamento dos dados

Os dados de calor específico foram avaliados por meio do esquema fatorial 5x5x3, (teor de água, temperatura e repetições) utilizando-se o programa ASSISTAT versão 7.6.

Para análise estatística da difusividade térmica foi usado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) aplicado com o programa ASSISTAT versão 7.6, com comparação entre médias por meio do teste de Tukey.

A determinação do erro percentual (Equação 3.13) foi utilizado para avaliar o ajuste das equações teóricas aos dados experimentais das propriedades termofísicas teóricas, dentre elas calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica.

$$E = \left(\frac{V_{\text{Cal}} - V_{\text{exp}}}{V_{\text{exp}}} \right) X 100 \quad (3.13)$$

donde:

E - erro percentual (%)

Vexp - valor experimental

Vcal - valor calculado

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Caracterização química, física e físico-química da polpa de pequi integral

Na Tabela 4.1 se encontram os resultados obtidos para os parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da polpa de pequi integral.

Tabela 4.1 - Valores médios dos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da polpa de pequi integral

Parâmetros analisados	Média e Desvio padrão
Teor de água (% b.u.)	79,70 ± 0,05
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,66 ± 0,01
pH	3,60 ± 0,01
Ácido ascórbico (mg/100 g)	1,97 ± 0,02
Atividade de água (25 °C)	0,990 ± 0,00
Cinzas (%)	0,12 ± 0,00
Sólidos solúveis totais (°Brix)	5,00 ± 0,05
Açúcares totais (% glicose)	1,25 ± 0,00
Açúcares redutores (% glicose)	0,69 ± 0,00
Açúcares não-redutores (% sacarose)	0,53 ± 0,00
Lipídios (%)	29,40 ± 0,55
Proteínas (%)	5,86 ± 0,64
Luminosidade (L*)	58,60 ± 0,03
Intensidade de vermelho (+ a*)	7,18 ± 0,05
Intensidade de amarelo (+ b*)	27,43 ± 0,31

De acordo com a Tabela 4.1 a polpa de pequi integral (*Caryocar coriaceum* Wittm.) apresentou teor de água de 79,70%, valor superior ao determinado por Oliveira et al. (2008) ao avaliarem a composição centesimal das diferentes partes do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) tendo encontrado, na polpa, um teor água de 76%. Ressalta-se que as diferenças entre os valores do teor de água podem ser devidas espécies serem diferentes. Santos et al. (2008) ao determinarem as propriedades físico-químicas do pequi (*Caryocar brasiliensis* camb.) *in natura* observaram para o parâmetro teor de água um valor inferior de 56,53%. Ribeiro (2011) observaram, ao determinar as propriedades químicas do pequi de diferentes regiões do cerrado, que os frutos apresentaram uma variação no teor de água

de 52,37 a 74,40%. Diante desses resultados é possível afirmar que, de acordo com os locais de obtenção dos frutos, eles podem apresentar diferenças na composição química, dentre elas o percentual de água. Observa-se que, por possuir maior teor de água, a polpa estudada no presente trabalho é mais propícia ao desenvolvimento de micro-organismo deteriorante.

A acidez total titulável da polpa de pequi integral foi 0,66% de ácido cítrico, próximo ao determinado por Souza Filho (2002) para os frutos de araçá-boi (0,68 g de ácido cítrico/100g) e camu-camu (0,62 g/100 g). Silva et al. (2012) obtiveram, ao estudar a composição físico-química das polpas de caju e manga, teores de acidez de 0,57 g de ácido cítrico/100g e 0,57 g de ácido cítrico/100g, inferiores aos da polpa de pequi. de ácido cítrico/100g.

Como indicado é mostrado na Tabela 4.1, o pH da polpa de pequi foi de 3,60. Rigueira (2003) encontrou, analisando polpa de pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.), pH inferior (3,0) ao do presente estudo. Santos (2008) constatou em estudo com pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) pH de 3,69, valor este semelhante ao encontrado na polpa do estudo em questão, apesar de ser outra espécie (*Caryocar coriaceum*). Valores de pH próximos ao da polpa de pequi foram verificados por Ramos & Ibarz (1998) para o concentrado de laranja que apresentou pH de 3,67, e por Santos et al.(2008) para a polpa de murici, cujo foi pH de 3,7.

É possível verificar que o teor de ácido ascórbico da polpa de pequi integral foi de 1,97 mg/100 g. Miranda et al. (2009) constataram, avaliando o valor nutricional do pequi, valor superior de ácido ascórbico, que foi 12 mg/100 g. Freire et al. (2009) avaliaram a composição físico-química de polpas de cupuaçu congeladas de diferentes marcas, com o teores de ácido ascórbico também baixos, de 0,82 mg/100 g; 2,30 mg/100 g e 4,84 mg/100 g, na qual os últimos valores encontrados foram próximos ao da polpa de pequi.

De acordo com Gava et al. (2008) a atividade de água é o fator que mais influencia na alteração dos alimentos por estar relacionada ao crescimento e à atividade metabólica dos micro-organismos e com as reações hidrolíticas; geralmente polpa de frutas tende a uma atividade de água superior a 0,98. Com relação ao parâmetro atividade de água (a_w) da polpa de pequi o valor foi de 0,990 resultado semelhante ao encontrado por Oliveira et al. (2011) de 0,996 para a polpa de pequi da mesma espécie. Grizotto et al.(2005) encontraram, para as polpas de abacaxi, manga e mamão, atividades de água de 0,985, 0,995 e 0,994, respectivamente, com as polpas de manga e mamão apresentando os valores mais próximos ao da polpa de pequi.

O conteúdo mineral ou cinzas da polpa de pequi foi 0,12%; valor superior a este foi encontrado por Santos et al. (2010), para o pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.), de 1,1%, por Arévalo-Pinedo et al. (2010) para a polpa de pequi (*Caryocar brasiliense*) com o teor de cinzas foi 2,23%, por Lima et al. (2007) também para a polpa de pequi, que foi 0,63% e por Ramos & Souza (2011) ao analisarem os frutos de pequizeiro (*Caryocar coriaceum* Wittm.) oriundos dos estados do Maranhão e Piauí com teores variando entre 2,26% e 3,18%. Nota-se que, quando comparado com os demais trabalhos, o teor de cinzas foi bastante inferior mas é um parâmetro que pode variar devido às condições edafoclimáticas da região, solo e espécie.

O teor de sólidos solúveis totais da polpa de pequi foi de 5,0 °Brix, próximo ao determinado por Silva et al. (2012) para a polpa de acerola (*Malpighia emarginata*, D.C.) que foi de 5,80 °Brix. e por Oliveira et al. (2011) para a polpa de pequi (*Caryocar coriaceum* Wittm.) que apresentou 5,3 °Brix.

Os teores de açúcares totais, redutores e não redutores da polpa de pequi, foram 1,25% glicose, 0,69% glicose e 0,53% sacarose, respectivamente. Souza (2012) também encontrou baixo teor de açúcares totais da polpa de pequi *Caryocar coriaceum* da ordem de 1,53%, proveniente da Chapada do Araripe, no Estado do Ceará. Contrariamente, Santos et al. (2010) verificaram em polpa de pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) altos teores de açúcares totais (14,46%) e açúcares redutores (3,57%) de frutos colhidos no município de Barra do Bugres, no Estado de Mato Grosso.

Os resultados observados para os parâmetros lipídios e proteínas da polpa de pequi foram 29,40 e 5,86%, respectivamente. Lima et al. (2007) encontraram, estudando a composição química do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) para os componentes lipídios e proteínas, os respectivos resultados 33,40 e 3,00%. Desta forma, pode-se observar que, na polpa do pequi, os lipídios são os constituintes predominantes e com teor de proteína significativo. Arévalo-Pinedo et al. (2010) encontraram, em estudo feito com a polpa de pequi para proteína teor de 3,10% e lipídios de 21,70%, sendo inferiores ao do presente trabalho. Ribeiro (2011) observou, ao estudar a composição química centesimal de polpa de pequi de diferentes estados do Cerrado brasileiro, para os lipídios teor de 27,13% e proteínas de 2,90%, valores também inferiores aos constatados neste estudo. A variação dos parâmetros citados pode ter ocorrido devido, provavelmente, a diferença de espécies, local de colheita dos frutos e tipo de solo que nutre a planta.

Observam-se ainda, na Tabela 4.1, os parâmetros da cor da polpa de pequi luminosidade (L*), intensidade de vermelho (+a*) e intensidade de amarelo (+ b*).

Verifica-se que a polpa de pequi apresentou maior predominância da intensidade de amarelo. Ribeiro (2011) ao avaliar os valores de luminosidade (L^*) e parâmetros de croma (a^* e b^*) em pequis do cerrado brasileiro, obtidos no Estado de Tocantins, verificou os valores de $L^* = 68,2$; $a^* = +9,2$ e $b^* = +39,7$, apresentando cor mais clara e maior intensidade de amarelo do que a polpa do presente trabalho. Silva et al. (2012) verificar para a polpa de manga (*Mangifera indica* L.), valores dos parâmetros de cor $L^*(39,23)$, $a^*(+1,08)$ e $b^*(+14,46)$ inferiores ao da polpa de pequi, significando que a polpa de pequi tem uma cor amarela mais intensa.

4.2 - Comportamento reológico

4.2.1 - Viscosidades aparentes

De acordo com as Tabelas A.1 a A.6 (Apêndice A), os fatores avaliados temperatura e velocidade de rotação e sua interação, foram significativos a 1% de probabilidade do Teste F.

Nas Tabelas 4.2 a 4.7 se encontram as viscosidades aparentes da polpa de pequi com diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%), em seis velocidades de rotação (1,8, 2,0, 2,5, 3,0, 4,0 e 5,0 rpm) e seis temperaturas (25, 30, 35, 40, 45, e 50%).

Na Tabela 4.2 observa-se que nas amostras com os teores de água de 55, 60, 65 e 70%, a viscosidade aparente apresentou tendência de diminuição com o aumento da velocidade de rotação, significando que essas amostras se comportaram como fluido pseudoplástico. Para todas as velocidades de rotação os valores das viscosidades aparentes diminuíram estatisticamente com o aumento do teor de água das amostras, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Resultados superiores de viscosidade a 25 °C foram encontrados por Izidoro et al. (2008) para formulações elaboradas com a polpa da banana verde (F1 – 70% de polpa, 20% de óleo de soja e 10% de água; e F3 - 65% de polpa, 25% de óleo de soja e 10% de água) apresentando valores entre 5.000 e 6.000 mPa s, respectivamente, para taxas de deformação entre 0 e 25 s⁻¹.

As polpas de pequi com teores de água de 55, 60, 65 e 70% apresentaram valores de viscosidade aparente de 359.000,00 a 75.466,66 mPa s (taxas de deformação de 0,45 a 1,25 s⁻¹) na temperatura de 25 °C, sendo que Vriesmann et al. (2009) encontraram viscosidades aparentes a 25 °C em soluções de amido (6%) obtidas a partir da polpa de cupuaçu, de 100.0000 mPa s a 10.000 mPa s para taxas de deformação na faixa de 0,1 a 1s⁻¹.

Tabela 4.2 - Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 25 °C

Veloc. de rotação (rpm)	Teor de água (%)			
	55%	60%	65%	70%
1,8	359.000,00 aA	314.000,00 aB	246.000,00 aC	147.666,70 aD
2,0	331.000,00 bA	290.000,00 bB	224.000,00 bC	135.333,30 aD
2,5	289.000,00 cA	248.000,00 cB	192.333,30 cC	115.333,30 bD
3,0	254.666,70 dA	220.333,30 dB	173.333,30 dC	103.000,00 bcD
4,0	216.666,70 eA	184.000,00 eB	145.666,70 eC	87.000,00 cdD
5,0	188.333,30 fA	159.000,00 fB	129.333,30 eC	75.466,66 dD

DMS para colunas = 18.953,22 mPa s; DMS para linhas = 17.010,46 mPa s ; MG = 201.186,11 mPa s; CV = 3,89%. DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação Obs: As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Os resultados na Tabela 4.3 indicam, para as amostras com teor de água de 55, 60, 65 e 70%, tendência de diminuição da viscosidade aparente, a 30 °C, com o aumento da velocidade de rotação, em cuja temperatura essas amostras também se comportaram como fluido pseudoplástico. Em todas as velocidades de rotação a viscosidade aparente diminuiu com o aumento do teor de água. Haminiuk et al. (2006) verificaram, ao estudar a reologia em polpa de araçá (11,40 °Brix; teor de água 87,18%) verificaram que a viscosidade aparente a 30 °C variou entre 1.2000 a 3.000 mPa s para taxas de deformação entre 0 e 10 s⁻¹, sendo que, esses valores são inferiores aos encontrados nas polpas de pequi estudadas.

Tabela 4.3 - Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 30 °C

Veloc. de rotação (rpm)	Teor de água (%)			
	55%	60%	65%	70%
1,8	310.000,00 aA	270.666,70 aB	143.666,70 aC	97.037,34 aD
2,0	286.333,30 aA	248.333,30 aB	136.666,70 aC	89.833,34 abD
2,5	242.333,30 bA	208.666,70 bB	117.333,30 abC	76.666,66 abcD
3,0	217.333,30 cA	185.000,00 bB	104.000,00 bcC	67.555,66 bcdD
4,0	177.000,00 dA	152.000,00 cB	87.416,66 cdC	56.083,33 cdD
5,0	149.000,00 eA	130.666,70 cA	76.866,66 dB	48.800,00 dC

DMS para colunas = 26.738,20 mPa s; DMS para linhas = 23.997,45 mPa s; MG = 153.302,48 mPa s; CV = 7,20%. DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 4.4 se encontram as viscosidades aparentes, a 35 °C, das diferentes amostras de polpa de pequi analisadas. Observa-se tendência de redução da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação para as polpas com teores de água de 55, 60, 65 e 70%, sendo também classificadas como fluidos pseudoplásticos a esta temperatura. Oliveira et al. (2011) relataram valores de viscosidade aparente para polpa de goiaba, a 35 °C, entre 400.000 e 200.000 mPa s para taxas de deformação entre 0 e 10 s⁻¹; o último valor citado foi considerado próximo ao das polpas de pequi com teores de água de 55 e 60% nas velocidades de rotação de 1,8 e 2,0 rpm; nos demais teores de água estudados a viscosidade diminuiu com o aumento do teor de água, sendo possível observar que a polpa com 70% de teor de água apresentou menor viscosidade aparente.

Tabela 4.4 - Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 35 °C

Veloc. de rotação (rpm)	Teor de água (%)			
	55%	60%	65%	70%
1,8	260.666,70 aA	219.000,00 aB	133.333,30 aC	87.777,66 aD
2,0	217.000,00 bA	205.666,70 bA	122.666,70 aB	80.666,66 abC
2,5	177.666,70 cA	165.000,00 cB	105.333,30 bC	68.933,34 bcD
3,0	152.666,70 dA	152.333,30 dA	93.111,34 bB	60.666,67 cdC
4,0	126.000,00 eA	128.000,00 eA	77.833,34 cB	50.813,67 deC
5,0	113.333,30 eA	111.666,70 eA	67.933,34 cB	44.000,00 eC

DMS para colunas = 12.676,07 mPa s; DMS para linhas = 11.376,74 mPa s; MG = 125.919,55 mPa s; CV = 4,16%. DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

De acordo com a Tabela 4.5, observa-se que houve tendência de redução da viscosidade aparente, a 40 °C, com o aumento da velocidade de rotação nas amostras com teor de água de 55, 60, 65 e 70%, sendo também classificadas como fluidos pseudoplástico.

Tabela 4.5 - Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 40 °C

Veloc. de rotação (rpm)	Teor de água (%)			
	55%	60%	65%	70%
1,8	209.000,00 aA	207.000,00 aA	114.000,00 aB	92.777,66 aC
2,0	198.333,30 aA	191.333,30 aA	105.500,00 abB	85.500,00 abC
2,5	166.666,70 bA	163.000,00 bA	90.533,34 bcB	73.200,00 bcC
3,0	142.666,70 cA	146.000,00 bA	80.555,34 cdB	64.778,00 cdB
4,0	118.333,30 dA	119.333,30 cA	67.000,00 deB	53.256,67 deB
5,0	101.133,30 dA	104.666,70 cA	58.400,00 eB	46.200,00 eB

DMS para colunas = 18.270,80 mPa s; DMS para linhas = 16.397,99 mPa s; MG = 116.631,98 mPa s; CV = 6,47%. DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Ocorreu uma redução da viscosidade aparente com o aumento do teor de água das polpas do estudo em questão. Os menores valores de viscosidade aparente foram encontrados na polpa com maior percentual de água (70%) que variaram entre de 92.777,66 e 46.200,00 mPa s nas velocidades de rotação de 1.8 e 5.0 rpm, respectivamente.

Na Tabela 4.6 tem-se as viscosidades aparentes das polpas de pequi na temperatura de 45 °C, observando-se comportamento semelhante aos das temperaturas anteriores (25, 30, 35 e 40 °C). Verifica-se, para as polpas com teores de água de 55, 60, 65 e 70%, que a viscosidade aparente apresentou tendência de redução com o aumento da velocidade de rotação, sendo característica de fluidos pseudoplástico comportamento comum em polpas de fruta. Analisando o aumento do teor de água das amostras, verifica-se tendência de redução das viscosidades em todas as velocidades de rotação, tornando-se mais fluidas.

Tabela 4.6 - Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 45 °C

Veloc. de rotação (rpm)	Teor de água (%)			
	55%	60%	65%	70%
1,8	199.666,70 aA	189.333,30 aA	144.000,00 aB	70.925,66 aC
2,0	183.000,00 bA	174.000,00 bA	133.666,70 aB	65.666,66 aC
2,5	156.666,70 cA	150.000,00 cA	114.333,30 bB	56.000,00 abC
3,0	136.666,70 dA	131.666,70 dA	101.444,30 bB	49.555,67 bcC
4,0	113.666,70 eA	110.000,00 eA	84.333,34 cB	40.916,67 bcC
5,0	96.800,00 fA	97.333,34 eA	73.666,66 cB	35.733,33 cC

DMS para colunas = 15.203,46 mPa s; DMS para linhas = 13.645,06 mPa s; MG = 112.876,76 mPa s; CV = 5,56% . DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs: As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.7 se encontram os valores da viscosidade aparente na temperatura de 50 °C da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação. Constata-se, para as amostras com teores de água de 55, 60, 65 e 70%, que a viscosidade aparente apresentou tendência de redução com o aumento da velocidade de rotação. Em relação ao aumento do teor de água, as viscosidades aparentes apresentaram tendência de redução em todas as velocidades de rotação avaliadas. Melo et al. (2008)

verificaram, para a polpa de buriti com leite viscosidades aparentes, temperatura de 50 °C de 4.130 e 2.830 mPa s nas velocidade de rotação de 2,5 e 5,0 rpm, respectivamente, valores esses inferiores aos das polpas de pequi com teores de água de 55 a 70%. Nas velocidades de rotação de 2,5 a 5,0 rpm as polpas com 55 e 60% de teor de água não apresentaram diferenças estatísticas.

Tabela 4.7 - Viscosidade aparente (mPa s) da polpa de pequi com diferentes teores de água em função da velocidade de rotação a 50 °C

Veloc. de rotação (rpm)	Teor de água (%)			
	55%	60%	65%	70%
1,8	246.333,30 aA	208.333,30 aB	128.333,30 aC	103.111,00 aD
2,0	205.333,30 bA	188.000,00 bB	118.000,00 abC	96.000,00 abD
2,5	167.666,70 cA	162.000,00 cA	100.933,30 bcB	81.466,66 bcC
3,0	149.000,00 dA	141.666,70 dA	89.666,66 cdB	71.744,34 cdC
4,0	119.000,00 eA	118.333,30 eA	73.833,34 deB	59.000,00 dB
5,0	102.666,70 eA	102.400,00 eA	64.133,33 eB	34.326,67 eC

DMS para colunas = 18.245,16 mPa s; DMS para linhas = 16.374,98 mPa s; MG = 122.136,75 mPa s; CV = 6,17%. DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação. Obs.: As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Observou-se nas amostras de polpa de pequi com teores de água de 55, 60, 65 e 70% que, de maneira geral, houve tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação em todas as temperaturas avaliadas (25 a 50 °C).

Nas polpas com teor de água de 55 e 60% verificou-se ocorrência de diminuição da viscosidade com aumento da temperatura entre 25 e 45 °C, apresentando aumento da viscosidade entre 45 e 50 °C. Este aumento da viscosidade pode ter ocorrido possivelmente pela presença de pectina ou amido. Fernandes et al. (2009) observaram, ao estudar o comportamento reológico, a 25 °C da polpa de maracujá adicionada de sacarose (0, 10 e 20%) e pectina (0, 0,5 e 1,0%) aumento da viscosidade com o aumento da concentração de pectina. Branco & Gasparetto (2003) constataram, estudando o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura, nas

temperaturas de 10 e 60 °C, que na temperatura de 60 °C ocorreu um aumento de viscosidade aparente que, provavelmente, está relacionado à temperatura que pode ter alterado a estrutura dos constituintes dos sucos ou amostras estudadas. De acordo com Vital (2000) o aumento da viscosidade pode ser explicado pela possível gelatinização do amido presente na polpa.

Em relação à polpa com 65% de teor de água observa-se que sofreu diminuição na viscosidade aparente com o aumento da temperatura entre 25 e 40 °C e entre as temperaturas de 45 e 50 °C.

Na amostra com 70% de teor de água, a redução da viscosidade foi entre as temperaturas de 25, 30 e 35 °C; os valores das viscosidades nas temperaturas de 40 e 50 °C foram superiores quando comparados com as demais temperaturas.

Com base nos resultados obtidos, as polpas com teor de água de 55, 60, 65 e 70% em todas as temperaturas apresentaram comportamento pseudoplástico, sendo comum em polpa de frutas. Polpas com comportamento pseudoplástico também foram verificadas por Oliveira et al. (2012) para a polpa de morango com 6,80 °Brix e teor de água de 89,4% nas temperaturas de 20, 25, 30 e 35 °C; por Vidal et al. (2006) para a polpa de manga centrifugada nas temperaturas variando entre 10 e 60 °C e por Oliveira et al. (2011) para as polpas de gabioba e goiaba para temperaturas de 20 a 35 °C.

4.2.1.1 - Modelo de Sisko

Na Tabela 4.8 tem-se os parâmetros do modelo de Sisko ajustados aos dados da viscosidade aparente das diferentes polpas de pequi, nas velocidades de rotações de 0,07 a 10 rpm em função da taxa de deformação, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P).

Verifica-se, para a polpa com 55% de teor de água, que o valor da viscosidade à taxa de cisalhamento infinita (η_∞) diminuiu com o aumento da temperatura entre 25 e 45 °C, com os valores variando entre 161.792.00 e 75.746.78 mPa s. Comportamento semelhante ocorreu para o índice de consistência de Sisko (K_s), com tendência de redução com o aumento da temperatura apresentando o valor mínimo de 46.430.98 mpa sⁿ e o valor máximo foi 87.323,02 mPa sⁿ. O índice de comportamento do fluido do modelo (n_s) e o índice de consistência de Sisko (K_s), apresentaram valores inferiores a um, de -0.0253 a -0,0770. Os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,99 e os desvios percentuais médios (P) inferiores a 8%, indicando bom ajuste do modelo aos dados experimentais.

Na polpa com teor de água de 60%. foi encontrada a viscosidade à taxa de cisalhamento infinita (η_{∞}) com valores variando entre 112.888,50 a 72.658,92 mPa s; os índices de consistência de Sisko (K_s) apresentaram tendência de redução com o aumento da temperatura e os valores de índice de comportamento do fluido de Sisko (n_s) também foram inferiores a um, no intervalo de -0,0055 a -0,0756. Os coeficientes de determinação (R^2) apresentaram valores superiores a 0.99 e os desvios percentuais médios inferiores a 10%, demonstrando o excelente ajuste do modelo.

Tabela 4.8 - Parâmetros do modelo de Sisko, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas

Teor de água (%)	Temp.(°C)	Parâmetros			R^2	P (%)
		η_{∞}	K_s	n_s		
55	25	161.792,00	87.323,02	-0,0327	0,9983	6,20
	30	130.375,00	79.918,82	-0,0594	0,9987	7,69
	35	95.629,05	52.449,70	-0,0253	0,9990	6,88
	40	78.715,75	56.048,09	-0,0356	0,9992	4,87
	45	75.746,78	49.230,31	-0,0770	0,9986	6,19
	50	85.542,51	46.430,98	-0,0742	0,9991	6,23
60	25	112.888,50	90.193,76	-0,0061	0,9992	4,16
	30	90.828,50	81.254,91	-0,0096	0,9989	5,32
	35	107.196,20	46.772,55	-0,0756	0,9979	8,00
	40	72.658,92	60.119,12	-0,0055	0,9995	3,92
	45	72.807,00	52.352,07	-0,0270	0,9988	5,38
	50	87.678,57	50.124,69	-0,0628	0,9988	6,21
65	25	108.219,90	61.572,70	-0,0117	0,9981	6,72
	30	54.988,82	42.985,23	0,0236	0,9989	4,93
	35	34.660,25	46.657,81	0,0493	0,9997	2,12
	40	43.391,02	31.631,68	-0,0116	0,9993	4,59
	45	-3.225,21	73.540,26	0,1358	0,9981	6,55
	50	21.457,97	49.990,81	0,0517	0,9999	1,34
70	25	24.233,64	59.286,61	0,0770	0,9999	1,09
	30	23.957,25	32.452,07	-0,0035	0,9998	0,72
	35	26.473,47	24.491,69	-0,1304	0,9998	0,95
	40	26.328,04	27.412,16	-0,0971	0,9998	0,99
	45	19.518,69	21.745,60	-0,0672	0,9998	0,79
	50	31.158,55	28.571,49	-0,1338	0,9996	1,47

Para a polpa com 65% de teor de água, apresentou a viscosidade à taxa de cisalhamento infinita (η_{∞}) com valores inferiores a 109.000 mPa s; o índice de consistência de Sisko (K_s) indicou valores mínimo de 31.631,68 mPa sⁿ e máximo de 7.540,26 mPa sⁿ e

o índice de comportamento do fluido do modelo de Sisko (n_s) também apresentou valores inferiores a um. Os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,99 e os desvios percentuais médios inferiores a 7%, demonstrando o bom ajuste do modelo.

A polpa com 70% de teor de água apresentou resultados de viscosidade à taxa de cisalhamento infinita (η_∞) oscilando entre 19.518,55 a 311.58,55 mPa s, valores inferiores aos das polpas com 55 e 60% de teor de água, em todas as temperaturas. Quanto ao índice de consistência de Sisko (K_s) para polpa com 70% de teor de água houve variação de 59.286,61 a 21.745,60 mPa sⁿ; o índice de comportamento do fluido do modelo de Sisko (n_s) também apresentou valores inferiores a um. Os coeficientes de determinação foram superiores a 0,99 e os desvios percentuais médios inferiores a 2%, indicando também o bom ajuste do modelo aos dados experimentais desta polpa.

Valores inferiores aos encontrados nas polpas de pequi foram determinados por Muñoz et al. (2007) ao ajustarem o modelo de Sisko aos dados experimentais da viscosidade a 20 °C de dispersões aquosas elaboradas com goma *Acácia tortuosa* com diferentes concentrações (15, 20, 25, 30 e 40%), sendo obtidos os maiores valores na amostra com concentração de 40% para a viscosidade a taxa de cisalhamento infinita (η_∞) que foi de 166×10^{-3} Pa s, e para o índice de consistência do modelo de Sisko (K_s), que foi 364×10^{-3} Pa sⁿ. os índices de comportamento do fluido do modelo de Sisko (n_s) foram menores que um, variando entre 0,18 e 0,33; e os coeficientes de determinação foram superiores a 0,99, indicando também bom ajuste do modelo.

As polpas de pequi apresentaram, em geral, valores superiores dos parâmetros do modelo de Sisko dos determinados por Kechinski et al. (2011) ao avaliar o comportamento reológico, nas temperaturas de 27, 40, 60, 80 e 93 °C, de purês de mirtilo (*Vaccinium ashei*) contendo diferentes concentrações de goma xantana (1,6, 2,0, 2,5, 3,0 e 3,3%) e de frutose (6,6, 10,0, 15,0, 20,0 e 23,4%) verificaram, para o modelo de Sisko, valores de $\eta_\infty \leq 0,30$ Pa s (viscosidade na taxa de cisalhamento infinita), do índice de consistência de Sisko (K_s) variando entre 23,28 a 57,10 Pa.sⁿ, de $n_s < 1,0$ (índice de comportamento do fluido do modelo de Sisko) e de $R^2 > 0,97$, confirmando também bom ajuste do modelo.

Valores inferiores aos dos parâmetros do modelo de Sisko, aos das polpas de pequi, foram encontrados por Rincón et al. (2009) que, estudando as propriedades reológicas, a 20 °C, de dispersões aquosas elaboradas com goma *Cedrela odorata* em diferentes concentrações (10, 15, 20 e 40%) encontraram, para o modelo de Sisko, valores de $\eta_\infty \leq 0,24$ Pa s, $K_s \leq 1,49$ Pa sⁿ, $n_s < 1,0$ e $R^2 > 0,999$.

As Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 mostram a viscosidade aparente em função da taxa de deformação para polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas, nas velocidades de rotações de 0,07 a 10 rpm. Nas Figuras 4.1 e 4.2 verifica-se, para as polpas de pequi com teor de água de 55 e 60% respectivamente, que os resultados da viscosidade aparente foram inferiores a 6.000.000 mPa s, sendo possível identificar que os resultados de viscosidade aparente superiores se encontram na faixa de temperatura de 25 e 30 °C e taxa de deformação entre 0 a 0,2 s⁻¹. Nas temperaturas de 35, 40, 45 e 50 °C ocorre diminuição da viscosidade aparente, que foi inferior a 4.000.000 mPa s nas mesmas taxas de deformação citadas anteriormente. Nas taxa de deformação entre 0,4 a 1,25 s⁻¹ a viscosidade aparente se manteve constante em todas as temperaturas porém nessas temperaturas as viscosidades foram menores. Na Figura 4.3 e 4.4 se encontra a viscosidade aparente em função da taxa de deformação para polpa com 65 e 70%, verificando-se que a viscosidade aparente foi inferior a 4.000.000 mPa s, a maior viscosidade aparente foi observada na temperatura de 25 °C; nas demais temperaturas ocorreu uma redução da viscosidade aparente. No entanto, os elevados resultados de viscosidade aparente foram nas taxas de deformação de 0,0 a 0,2 s⁻¹. Nas amostras foi observado na temperatura de 50 °C, um aumento da viscosidade aparente, o que geralmente ocorre quando na polpa existe a presença de amido, sendo este responsável pelo aumento da consistência quando se eleva a temperatura.

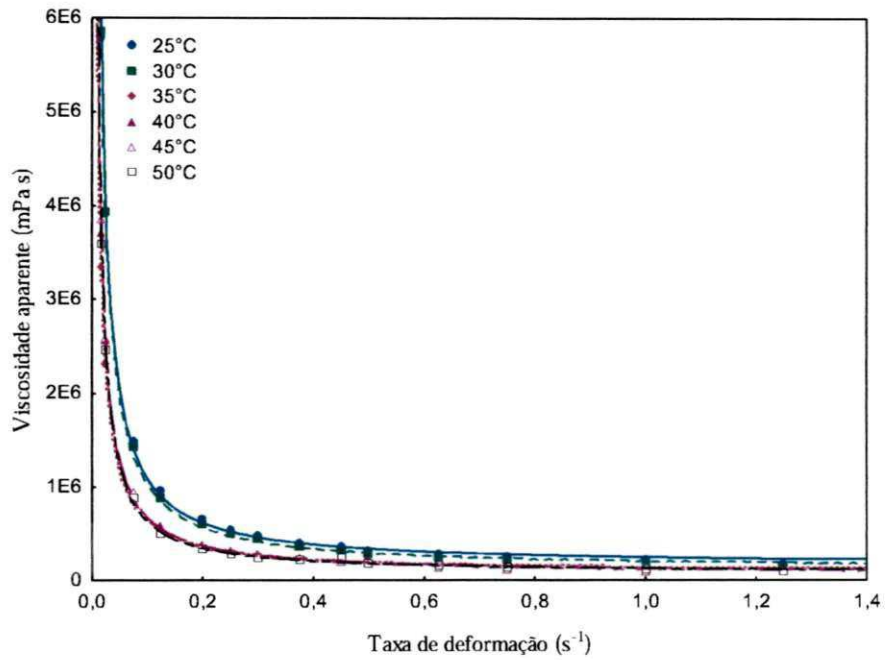


Figura 4.1 - Viscosidades aparentes em função da taxa de deformação da polpa de pequi com teor de água de 55% nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C

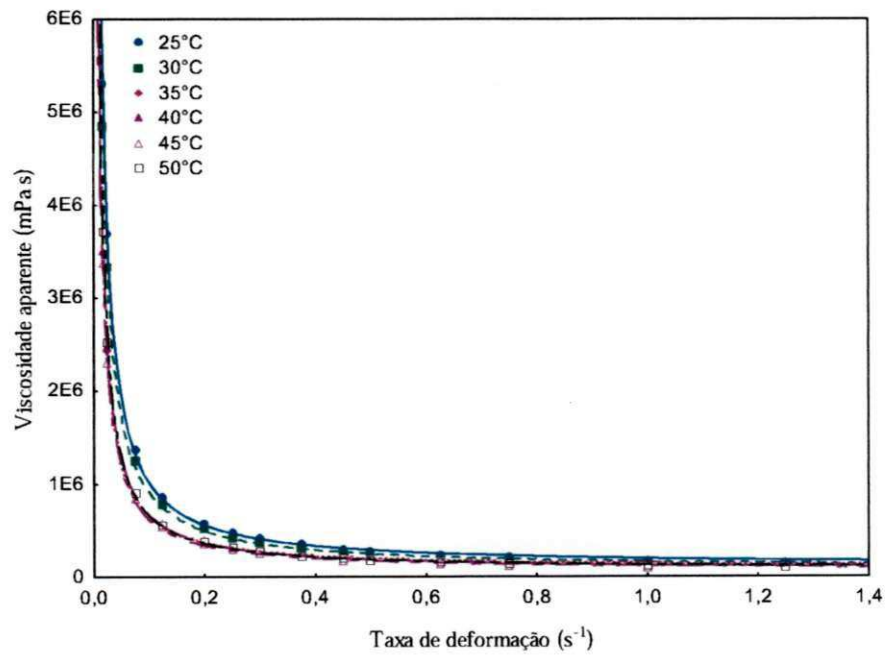


Figura 4.2 - Viscosidades aparentes em função da taxa de deformação da polpa de pequi com teor de água de 60% nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C

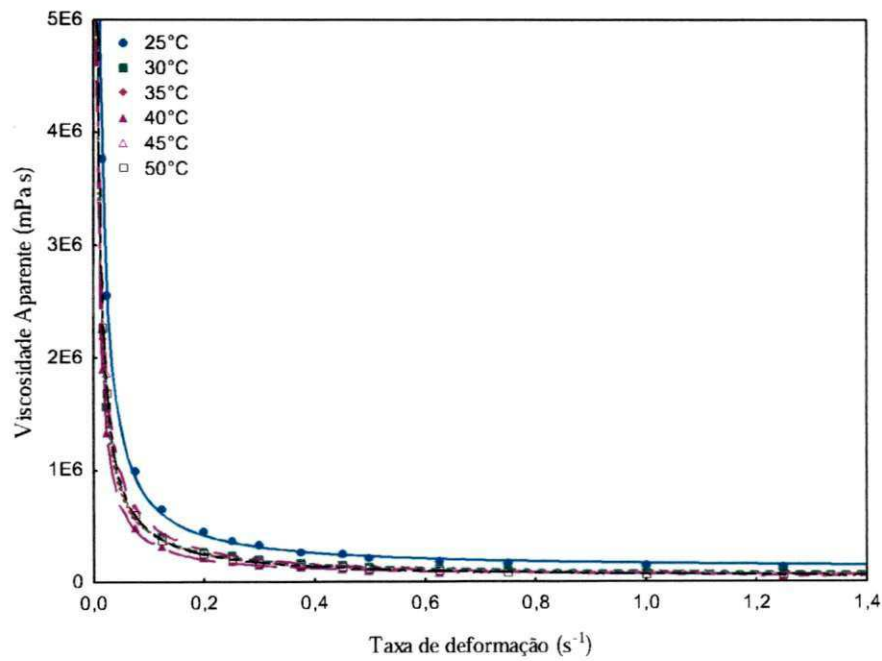


Figura 4.3 - Viscosidades aparentes em função da taxa de deformação da polpa de pequi com teor de água de 65% nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C

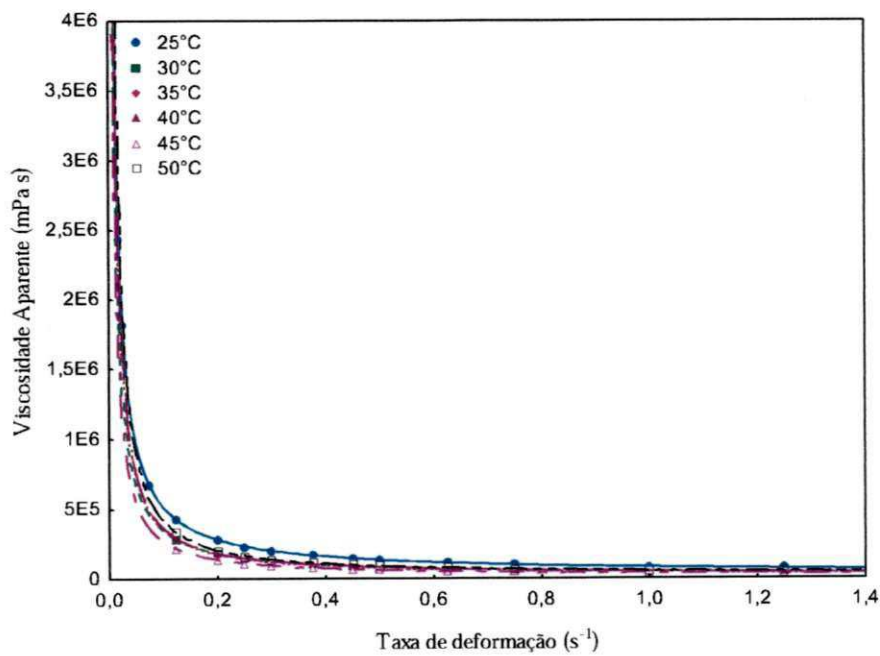


Figura 4.4 - Viscosidades aparentes em função da taxa de deformação da polpa de pequi com teor de água de 70% nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C

4.2.1.2 - Efeito da temperatura

Na Tabela 4.9 tem-se os valores para energia de ativação (E_a) da polpa de pequi com 55% de teor de água, constatando-se haver tendência de aumento da energia de ativação com o aumento da velocidade de rotação, com o maior valor encontrado de E_a de $27,21 \text{ kJ g}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, na velocidade de 5 rpm. Os coeficientes de determinação (R^2) apresentaram valores superiores a 0,94, sinal de que a equação de Arrhenius pode ser utilizada para demonstrar o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de pequi com 55% de teor de água. De acordo com Bezerra et al. (2009) os valores da energia de ativação indicam a sensibilidade da viscosidade aparente sobre a alteração da temperatura. Altos valores de energia de ativação significam que a viscosidade é mais sensível à mudança da temperatura. Sato & Cunha (2007) salientaram, ao estudar a energia de ativação da polpa de jaboticaba que o material com viscosidade baixa apresentou maiores energias de ativação, enquanto para o material com viscosidade bastante elevada a energia de ativação tende a diminuir.

Resultados de energia de ativação em polpas de fruta inferiores ao da polpa de pequi (55% de teor de água) foram encontrados por Gratão et al. (2007) para o suco de graviola, nas temperaturas de 0,4 a 68,8 °C e sólidos solúveis totais de 9,3 a 49,4 °Brix, que foram de 10,84 a 11,98 $\text{kJ g}^{-1} \text{ mol}^{-1}$; por Guedes et al. (2010) para a polpa de melancia nas temperaturas de 10 a 60 °C e teor de sólidos solúveis totais de 8 a 35 °Brix, que apresentou valores de energia de ativação entre 16,35 e 12,92 $\text{kJ g}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ com coeficientes de determinação (R^2) no intervalo de 0,931 a 0,972.

Tabela 4.9 - Valores da energia de ativação (E_a) da polpa de pequi com 55% de teor de água em diferentes velocidades de rotação

Velocidade de rotação (rpm)	E_a (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R^2
1,8	24,75	0,9760
2,0	24,54	0,9776
2,5	25,31	0,9613
3,0	26,37	0,9518
4,0	26,82	0,9495
5,0	27,21	0,9675

De acordo com a Tabela 4.10, tem-se os valores da energia de ativação (E_a) para a polpa de pequi com 60% de teor de água, verificando que os valores de E_a nas diferentes velocidades de rotação foram muito próximos, com o menor valor de 19,05 kJ g⁻¹ mol⁻¹ e o maior de 20,26 kJ g⁻¹ mol⁻¹, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,97, indicando o bom ajuste da equação de Arrhenius. Resultados superiores de E_a foram relatados por Chin et al. (2009) ao estudar o comportamento reológico do suco de pomelo nas temperaturas de 6 a 75 °C e diferentes concentrações de sólidos solúveis 20, 30 e 50°Brix, que verificaram valores de energia de ativação de 34,02 kJ g⁻¹ mol⁻¹ (20 °Brix), 42,05 kJ g⁻¹ mol⁻¹ (30 °Brix) e 22,12 kJ g⁻¹ mol⁻¹ (50 °Brix).

Valores de energia de ativação inferiores ao da polpa de pequi (60% de teor de água) foram constatados por Dak et al. (2006) para o suco de manga Totapuri entre as temperaturas de 20, 30, 40, 50, 60 e 70 °C e nas concentrações de 5,17, 8,51, 12,38 e 17% de sólidos totais que encontraram valores de E_a entre 1,66-11,35 kJ/mol, com a menor concentração de sólidos apresentando o maior valor de E_a . Karwowski (2012) encontrou para as polpas integrais de uvaia e pitanga E_a de 16,59 e 14,22 kJ mol⁻¹, respectivamente, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,984 para polpa de uvaia integral e 0,992 para polpa de pitanga integral.

Tabela 4.10 - Valores da energia de ativação (E_a) da polpa de pequi com 60% de teor de água em diferentes velocidades de rotação

Velocidade de rotação (rpm)	E_a ($\text{kJ g}^{-1} \text{mol}^{-1}$)	R^2
1,8	20,23	0,9801
2,0	20,26	0,9873
2,5	19,84	0,9565
3,0	20,03	0,9780
4,0	20,10	0,9799
5,0	19,05	0,9752

Na Tabela 4.11 se encontram as energias de ativação da polpa de pequi com 65% de teor de água nas velocidades de rotação de 2,0 a 5,0 rpm, em que o valor máximo obtido foi de $39,09 \text{ kJ g}^{-1} \text{mol}^{-1}$ e o mínimo de $36,88 \text{ kJ g}^{-1} \text{mol}^{-1}$, com coeficientes de determinação foram entre 0,9251 e 0,9423. Marcotte et al. (2001) verificaram, ao estudar as propriedades reológicas de soluções de pectina nas temperaturas de 20, 40, 60 e 80 °C, verificaram resultados de energia de ativação de $19,6 \text{ kJ g}^{-1} \text{mol}^{-1}$ (solução com 1%), $33,4 \text{ kJ g}^{-1} \text{mol}^{-1}$ (solução com 3%) e $22,7 \text{ kJ g}^{-1} \text{mol}^{-1}$ (solução com 5%), com coeficientes de determinação entre 0,97 a 0,99. Esses resultados de E_a foram inferiores aos da polpa de pequi com teor de água de 65%.

Tabela 4.11 - Valores da energia de ativação (E_a) da polpa de pequi com 65% de teor de água em diferentes velocidades de rotação

Velocidade de rotação (rpm)	E_a ($\text{kJ g}^{-1} \text{mol}^{-1}$)	R^2
1,8	37,13	0,9251
2,0	36,88	0,9417
2,5	36,90	0,9419
3,0	37,55	0,9380
4,0	38,11	0,9412
5,0	39,09	0,9423

Na Tabela 4.12 tem-se as energias de ativação da polpa de pequi com 70% de teor de água nas velocidades de rotação de 1,8 a 5,0 rpm; observa-se tendência de aumento de E_a entre as velocidades de 2,5 a 5,0 rpm. As E_a apresentaram valores entre 39,61 a 41,30 $\text{kJ g}^{-1} \text{mol}^{-1}$. Nindo et al. (2005) observaram, ao avaliar a viscosidade de sucos de mirtilo e framboesa nas temperaturas de 20 a 60 °C e teor de sólidos solúveis de 10,30 e 65 °Brix, que a energia de ativação do mirtilo variou de 9,14 para 39,15 kJ/mol , enquanto para o suco de framboesa a energia de ativação foi de 12,2–41,2 kJ/mol . Os valores mais altos encontrados para a energia de ativação das polpas de mirtilo e framboesa são próximos aos encontrados para polpa de pequi com 70% de teor de água.

Tabela 4.12 - Valores da energia de ativação (E_a) da polpa de pequi com 70% de teor de água em diferentes velocidades de rotação

Velocidade de rotação (rpm)	E_a ($\text{kJ g}^{-1} \text{mol}^{-1}$)	R^2
1,8	39,82	0,9456
2,0	39,61	0,9505
2,5	39,40	0,9501
3,0	40,52	0,9490
4,0	41,17	0,9424
5,0	41,30	0,9453

4.2.2 – Modelos reológicos

Tem-se, na Tabela 4.13 os valores dos parâmetros do modelo reológico de Ostwald-de-Waelle ajustado aos dados experimentais da curva de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de pequi com diferentes teores de água (55, 60, 65, 70%) nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C, além dos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Nota-se que o maior índice de consistência (K) do modelo de Ostwald-de-Waelle foi de 212,46 Pa sⁿ na polpa com 55% de teor de água e o menor 40,5664 Pa sⁿ na polpa com 70% de teor de água. Observa-se também tendência de decréscimo do índice de consistência com aumento do teor de água da polpa, em todas as temperaturas e, com o aumento da temperatura entre 25 e 45 °C, também houve tendência de diminuição de K, em todas as amostras .

Quanto aos valores do índice de comportamento do fluido (n) constata-se que todas as amostras apresentaram valores inferiores a 1 (um), confirmando que se trata de fluidos não newtonianos com características pseudoplásticas. Nas amostras com teor de água de 55, 60, 65 e 70% os valores de n foram em torno de 0,2. Ferreira et al. (2008) encontraram valores de n para as temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C variando de 0,23 a 0,42.

Os coeficientes de determinação (R^2) foram, em todas as amostras, superiores a 0,90 e os valores dos desvios percentuais médios (P) inferiores a 10%, significando que o modelo de Ostwald-de-Waelle pode ser utilizado para estimar os dados reológicos das polpas de pequi para a faixa de teor de água e temperaturas avaliadas. Guedes et al. (2010) verificaram também para a polpa de melancia, que o modelo de Ostwald-de-Waelle pode ser utilizado satisfatoriamente para descrever o comportamento reológico nas temperaturas de 10 a 60 °C e concentrações 8, 17, 26 e 35 °Brix, com coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,974. Ferreira et al. (2008) constataram, ao analisar as propriedades de escoamento da polpa de cupuaçu, que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Ostwald-de-Waelle que, apresentou coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,94.

Tabela 4.13 - Parâmetros do modelo de Ostwald-de Waelle, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas

Teor de água (%)	Temp. (°C)	Parâmetros		R^2	P (%)
		K	N		
55	25	212,46	0,2980	0,9657	3,86
	30	170,65	0,2171	0,9647	2,57
	35	125,26	0,3091	0,9420	5,31
	40	114,27	0,2321	0,9638	3,16
	45	109,90	0,2078	0,9396	3,62
	50	118,52	0,2768	0,9056	6,17
60	25	179,51	0,2606	0,9625	3,42
	30	148,36	0,2146	0,9549	3,07
	35	125,21	0,2783	0,9673	3,43
	40	118,32	0,2595	0,9616	3,58
	45	107,96	0,2497	0,9441	3,99
	50	115,87	0,2521	0,9617	3,37
65	25	142,69	0,2879	0,9753	3,16
	30	86,27	0,2849	0,9700	3,43
	35	76,29	0,2537	0,9579	3,52
	40	68,82	0,2693	0,9674	3,33
	45	82,50	0,2508	0,9392	4,13
	50	72,34	0,2329	0,9459	3,58
70	25	84,50	0,2475	0,9448	3,96
	30	55,51	0,2607	0,9659	2,76
	35	49,60	0,2313	0,9202	3,84
	40	52,58	0,2323	0,9339	3,43
	45	40,56	0,2503	0,9375	3,58
	50	57,98	0,2289	0,9298	3,47

Na Tabela 4.14 estão apresentados os parâmetros de ajustes, do modelo reológico de Casson ajustados aos dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação da polpa de pequi, em diferentes teores de água e temperaturas.

Observa-se que as amostras com teores de água de 55, 60, 65 e 70% apresentaram tensão de cisalhamento inicial (K_{oc}) no intervalo de 4,32 a 9,15 mPa $s^{0,5}$; verifica-se, na maioria das amostras que as maiores tensões (K_{oc}) ocorreram na temperatura de 25 °C; na polpa com 70% de teor de água a tensão de cisalhamento inicial (K_{oc}) foi inferior quando comparado, com as demais amostras, confirmando tratar-se da amostra menos consistente em razão de ter maior conteúdo de água.

Constata-se que o parâmetro viscosidade plástica de Casson (K_c) (Tabela 4.14), apresentou tendência de diminuição com aumento do teor de água nas amostras analisadas, para a mesma temperatura; os valores de K_c variaram de 2,0571 a 5,7821 mPa $s^{0,5}$; a polpa

com teor de água de 70% apresentou os menores valores de K_c 2,0571 a 3,1271 $\text{mPa s}^{0,5}$, confirmando que se trata da amostra com menores viscosidades. Segundo Silva (2003) a viscosidade plástica é uma medida indicativa da resistência interna de um fluido à sua própria movimentação e pode ser usada como indicação da concentração e interação dos sólidos no fluido.

Tabela 4.14 - Parâmetros do modelo de Casson, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas

Teor de água (%)	Temp. (°C)	Parâmetros		R^2	P (%)
		K_{OC}	K_C		
55	25	8,88	5,7821	0,9967	0,50
	30	9,15	4,0101	0,9943	0,61
	35	6,66	4,5979	0,9622	1,84
	40	7,29	3,4714	0,9922	0,72
	45	7,46	3,0896	0,9907	0,72
	50	6,85	4,1120	0,9170	2,53
60	25	8,71	4,7732	0,9976	0,41
	30	8,56	3,6944	0,9665	0,41
	35	7,05	4,2089	0,9986	0,33
	40	7,08	3,8607	0,9973	0,49
	45	6,89	3,5587	0,9922	0,73
	50	7,10	3,7333	0,9968	0,45
65	25	7,38	4,6381	0,9975	0,39
	30	5,78	3,5648	0,9985	0,35
	35	5,74	3,0413	0,9966	0,49
	40	5,19	2,9721	0,9987	0,32
	45	6,01	3,1186	0,9893	0,79
	50	5,80	2,7548	0,9930	0,59
70	25	6,12	3,1271	0,9924	0,72
	30	4,96	2,5054	0,9952	0,50
	35	4,93	2,1243	0,9713	1,11
	40	5,07	2,1998	0,9789	0,90
	45	4,32	2,0571	0,9812	0,93
	50	5,35	2,2807	0,9758	0,93

Os coeficientes de determinação (R^2) para o modelo de Casson foram superiores a 0,91 e os desvios percentuais médios (P) inferiores a 10%, sinalizando também que este modelo pode ser usado na predição dos dados reológicos das polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas. Balestra et al. (2011) ao analisar o comportamento reológico a 25 °C, de polpas de maçã, pera e pêssego, também verificaram

que o modelo de Casson se ajustou adequadamente aos dados experimentais, com $R^2 \geq 0,84$. Branco e Gasparetto (2003) identificaram, avaliando o comportamento reológico de suco de laranja concentrado congelado (-0,5 a -19,4 °C) identificaram que o modelo de Casson apresentou bom ajuste aos dados experimentais ($R^2 = 0,99$).

Na Tabela 4.15 tem-se os parâmetros de ajuste do modelo de Herschel-Bulkley aos dados experimentais das polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas; os valores encontrados são: tensão de cisalhamento inicial (τ_{0H}), índice de consistência (K_H) e índice de comportamento de fluxo (n_H).

Constata-se que as amostras com teores de água de 55, 60, 65 e 70% apresentaram os maiores valores de tensão de cisalhamento inicial (τ_{0H}), variando entre 95,61 e 24,67 mPa s. Observa-se, dentre as temperaturas avaliadas, que na temperatura de 25 °C tem-se os maiores valores de τ_{0H} , além de tendência de diminuição no valor de τ_{0H} com o aumento do teor de água das polpas de pequi estudadas.

De maneira geral, para uma mesma temperatura houve tendência de redução do índice de consistência (K_H) com o aumento do teor de água; a polpa com 55% de teor de água apresentou o maior índice de consistência (K_H) que foi de 120,62 mPa sⁿ e o menor valor foi 1,55 mPa sⁿ na polpa com maior teor de água.

O índice de comportamento (n) do fluido das diferentes polpas de pequi estudadas não apresentou tendência em relação ao aumento da temperatura e ao teor de água. Augusto et al. (2012) identificaram, estudando as propriedades reológicas da polpa de seriguela, identificaram que o comportamento da polpa pode ser bem descrito pelo modelo de Herschel-Bulkley nas temperaturas de 0, 20, 40, 60 e 80°C, com o valor do índice de comportamento do fluido variando entre 0,25 e 0,48.

O modelo de Herschel-Bulkley apresentou coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,91 e desvios percentuais médios (P) inferiores a 10%, sendo possível afirmar que o modelo em questão pode ser usado para prever o comportamento das polpas de pequi em diferentes teores de água e temperatura. Sharma et al. (1996) observaram, ao estudar o comportamento reológico da polpa de tomate, que o modelo de Herschel-Bulkley foi o mais adequado para prever os dados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. Bezerra et al. (2009) constataram, estudando as propriedades reológicas da polpa de morango, que o melhor modelo foi o de Herschel-Bulkley, o qual apresentou os menores valores de erro experimental que foram de 0,08 a 2,67% , para as temperaturas investigadas (10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C).

Tabela 4.15 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas

Teor de água (%)	Temp. (°C)	Parâmetros			R^2	P (%)
		τ_{OH}	K_H	n_H		
55	25	95,61	120,62	0,7608	0,9997	0,24
	30	89,87	83,48	0,6432	0,9950	1,18
	35	49,36	77,67	0,6667	0,9633	3,57
	40	56,94	59,08	0,6366	0,9932	1,34
	45	65,51	46,70	0,8151	0,9975	0,61
	50	44,62	75,20	0,5510	0,9194	5,08
60	25	88,87	93,91	0,7412	0,9997	0,28
	30	83,97	67,19	0,7437	0,9989	0,47
	35	58,29	69,10	0,7302	0,9997	0,30
	40	58,99	61,50	0,7466	0,9995	0,40
	45	58,87	51,44	0,8568	0,9995	0,39
	50	58,20	59,75	0,7261	0,9988	0,46
65	25	59,70	85,07	0,6542	0,9971	0,84
	30	38,87	48,84	0,7165	0,9990	0,60
	35	39,33	38,43	0,7724	0,9993	0,46
	40	31,23	35,73	0,7197	0,9997	0,26
	45	45,20	39,14	0,8731	0,9993	0,40
	50	40,40	33,45	0,8151	0,9993	0,37
70	25	46,15	40,17	0,8483	0,9994	0,39
	30	30,36	25,72	0,8160	0,9994	0,34
	35	31,96	18,32	1,0871	0,9964	0,78
	40	32,97	20,28	0,9917	0,9961	0,87
	45	24,67	16,42	1,0124	0,9982	0,65
	50	36,73	22,00	1,0026	0,9947	0,98

De acordo com a Tabela 4.16 verifica-se, para o modelo de Mizrahi & Berk, que o parâmetro K_{OM} não apresentou tendência definida com o aumento da temperatura e, para as amostras com o teor de água de 55, 60, 65 e 70%, os valores de K_{OM} variaram entre 4,93 e 9,53 Pa, exceto na amostra com 70% de teor de água na temperatura de 30 °C; para a amostra com 80% de teor de água os valores foram inferiores a 2,15 Pa, exceto na temperatura de 25 °C; o índice de consistência (K_M) das amostras com teores de água de 55, 60 e 65 foram próximos; o parâmetro n_M do modelo que corresponde ao índice de comportamento do fluido, para todos os valores foi inferior a 1, sendo comum para a maioria das polpas. Valores aproximados foram encontrados por Bezerra et al. (2001) ao estudar o comportamento da polpa de manga integral que foi de 0,29 a 0,54 para o parâmetro de Mizrahi-Berk (MB).

Tabela 4.16 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas

Teor de água (%)	Temp. (°C)	Parâmetros			R^2	P (%)
		K_{OM}	K_M	n_M		
55	25	9,53	5,16	0,6143	0,9997	0,15
	30	9,30	3,85	0,5356	0,9945	0,60
	35	6,86	4,41	0,5382	0,9625	1,77
	40	7,46	3,31	0,5431	0,9925	0,67
	45	8,02	2,57	0,7109	0,9975	0,31
	50	6,68	4,27	0,4691	0,9172	2,54
60	25	9,25	4,27	0,6131	0,9996	0,17
	30	9,03	3,26	0,6284	0,9990	0,20
	35	7,43	3,84	0,5883	0,9998	0,11
	40	7,53	3,44	0,6163	0,9994	0,20
	45	7,56	2,93	0,7233	0,9996	0,17
	50	7,50	3,35	0,6071	0,9985	0,26
65	25	7,43	4,59	0,5088	0,9975	0,40
	30	6,02	3,33	0,5633	0,9991	0,26
	35	6,13	2,67	0,6358	0,9994	0,19
	40	5,44	2,73	0,5810	0,9997	0,10
	45	6,65	2,53	0,7506	0,9989	0,23
	50	6,28	2,31	0,6989	0,9991	0,21
70	25	6,70	2,59	0,7173	0,9994	0,19
	30	6858,47	-6851,07	-0,0001	0,9436	1,70
	35	5,63	1,46	0,9840	0,9954	0,43
	40	5,71	1,58	0,8916	0,9952	0,47
	45	4,93	1,47	0,8974	0,9976	0,37
	50	6,03	1,63	0,9048	0,9934	0,54

Os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores aos encontrados pelos demais modelos sendo que na maioria das amostras, foi em torno de 0,99. Os desvios percentuais médios apresentaram valores no intervalo de 0,15 a 2,54%. Com esses resultados pode-se afirmar que o modelo de MB se ajustou bem aos dados experimentais, constatando-se que o modelo de Mizrahi & Berk foi o que melhor descreveu o comportamento da polpa de pequi para as diferentes concentrações e temperaturas do referido estudo.

Na literatura existem alguns trabalhos que citam que o modelo Mizrahi-Berk se ajusta bem para polpas de frutas, a exemplo de Fernandes et al. (2008) que afirmaram que o modelo reológico de Mizrahi-Berk foi o que apresentou os melhores ajustes para polpa de umbu-cajá, cujo coeficiente de determinação (R^2) foi superior a 0,98 e os erros percentuais médios (P) foram menores que 2,5%. Pelegrine et al. (2002) confirmaram,

avaliando o comportamento de polpa de abacaxi e manga, que o modelo de Mizrahi-Berk foi o que melhor se ajustou aos dados com coeficiente de determinação (R^2) de 0.99. Ferreira et al. (2002) avaliaram o efeito da temperatura no comportamento reológico de polpa de goiaba e averiguaram que o modelo de Mizhari-Berk foi o que melhor descreveu o comportamento reológico dessa polpa, com coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,9876 indicando o bom ajuste do modelo aos dados experimentais.

Na Tabela 4.17 estão dispostos os valores dos ajustes do modelo de Vocadlo para a polpa de pequi nas diferentes temperaturas e teores de água. Observam-se valores elevados de tensão de cisalhamento inicial (τ_{0v}) para as amostras com teor de água de 55, 60 e 65%; enquanto na polpa com 70% de teor de água verificam-se valores de τ_{0v} inferiores. Os índices de consistência (K_v) apresentaram valores maiores para as polpas com menores teores de água (55, 60 e 65%), significando que tratar-se de amostras mais consistentes e menores valores para as amostras com maiores teores de água (65 e 70%), menos consistentes; os índices de comportamento do fluido (n_v) variaram em um intervalo de 0,3843 a 0,9091.

Os coeficientes de determinação (R^2) variaram entre 0.9222 e 0.9997 e os desvios percentuais médios (P) foram inferiores a 4%, podendo este modelo representar satisfatoriamente as polpas de pequi com diferentes teores de água e em todas as temperaturas avaliadas.

Koocheki et al. (2013) estudaram as propriedades da goma extraída de sementes de Shahri Qodume (*Lepidium perfoliatum*) em diferentes concentrações (0,5, 1, 1,5 e 2%), em temperaturas de 5, 25 e 65 °C, demonstraram que, para as diferentes concentrações o modelo de Vocadlo apresentou bom ajuste aos dados, com coeficientes de determinações (R^2) variando entre 0,978 a 0,999.

Dentre os modelos reológicos (Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Vocadlo) utilizados para descrever o comportamento reológico das polpas de pequi com diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%), o de Mizrahi-Berk foi, na maioria das polpas e temperaturas, o que proporcionou os melhores ajustes apresentando os menores valores dos desvios percentuais médios (P) e os valores mais elevados dos coeficientes de determinação (R^2); entretanto, os demais modelos também podem ser usados na estimativa dos dados reológicos das polpas de pequi em razão de terem apresentado $R^2 > 0,90$ e $P < 10\%$.

Tabela 4.17 - Parâmetros do modelo de Vocadlo, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) para as polpas de pequi com diferentes teores de água e temperaturas

Teor de água (%)	Temp.(°C)	Parâmetros			R^2	P (%)
		τ_{0V}	K_V	n_V		
55	25	2.101,93	10.726,48	0,5613	0,9997	0,28
	30	5.595,23	513.542,00	0,3848	0,9948	1,14
	35	2.062,79	20.753,50	0,4783	0,9641	3,48
	40	14.053,11	140.007,50	0,3937	0,9947	1,17
	45	1.199,74	3.414,68	0,5469	0,9976	0,61
	50	1.207,06	22.4914,2	0,3843	0,9222	4,89
60	25	3.767,18	199.940,06	0,5099	0,9997	0,24
	30	6.038,71	27.574,13	0,4733	0,9984	0,62
	35	1.557,33	9.180,92	0,5152	0,9994	0,49
	40	1.541,18	7.764,99	0,5163	0,9993	0,45
	45	3.30,30	751,21	0,6595	0,9992	0,46
	50	2.348,55	13.599,68	0,4857	0,9991	0,39
65	25	4.289,88	41.842,10	0,4589	0,9968	0,98
	30	762,57	4.860,33	0,5110	0,9983	0,78
	35	500,60	2.036,61	0,5450	0,9988	0,62
	40	563,02	3.429,60	0,4991	0,9993	0,45
	45	201,80	440,93	0,6711	0,9994	0,38
	50	393,67	1.203,13	0,5702	0,9994	0,36
70	25	261,11	630,94	0,6420	0,9992	0,43
	30	207,18	594,14	0,5877	0,9996	0,26
	35	18,40	6,08	1,3035	0,9961	0,81
	40	46,07	38,02	0,8830	0,9962	0,86
	45	25,48	17,85	0,9833	0,9982	0,64
	50	47,60	35,92	0,9091	0,9948	0,94

Nas Figuras B.1 a B.16 (Apêndice B) tem-se os reogramas das polpas de pequi com ajustes pelos modelos da Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Vocadlo.

Nas Figuras 4.5 a 4.8 tem-se os gráficos dos valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para as polpas de pequi com diferentes teores de água, nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C e com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Observa-se, na Figura 4.5, que as maiores viscosidades, ou seja, é a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, para a polpa de pequi com 55% de teor de água, ocorreram na temperatura de 25 °C, curva superior, seguida da temperatura de 30 °C; nas temperaturas de 35 a 50 °C observa-se que as curvas ficaram muito conexas significando que as viscosidades foram muito próximas.

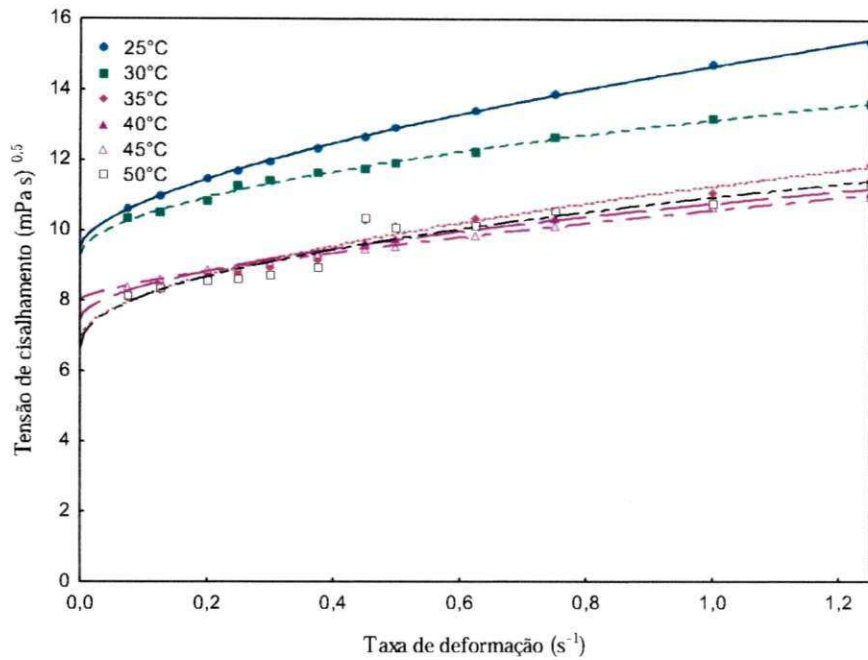


Figura 4.5 - Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de pequi com 55% de teor de água, com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk

Constata-se, na Figura 4.6, que as maiores viscosidades para a polpa de pequi com 60% de teor de água também ocorreram nas temperaturas de 25 e 30 °C e as menores nas temperaturas de 35 a 50 °C que, por sua vez, foram muito próximas. Este comportamento foi semelhante ao da amostra com 55% de teor de água.

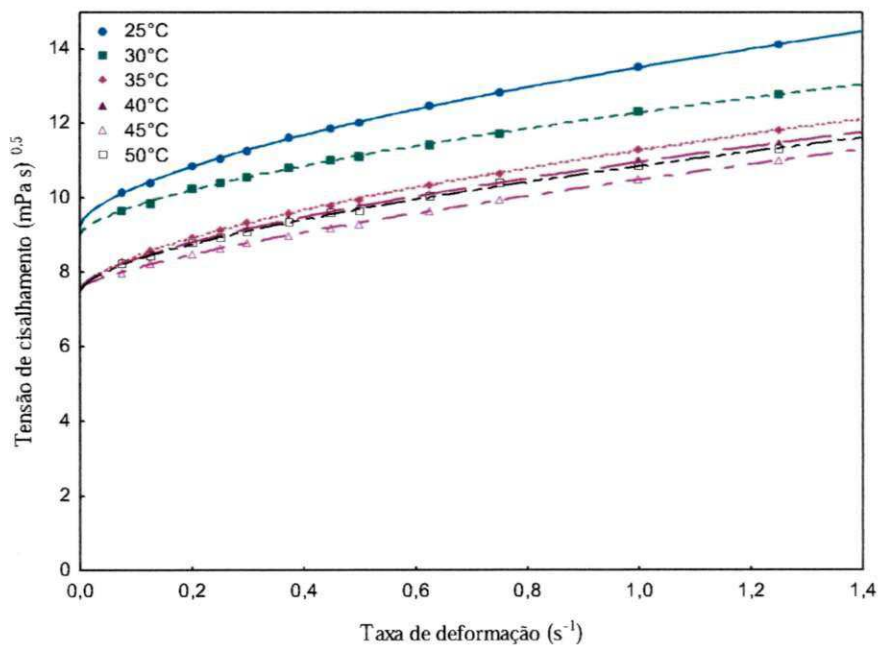


Figura 4.6 - Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de pequi com 60% de teor de água, com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk

Verifica-se, na Figura 4.7, que a curva na temperatura de 25 °C ficou distanciada das demais temperaturas, demonstrando viscosidades maiores; as curvas nas temperaturas de 30 a 50 °C ficaram muito próximas.

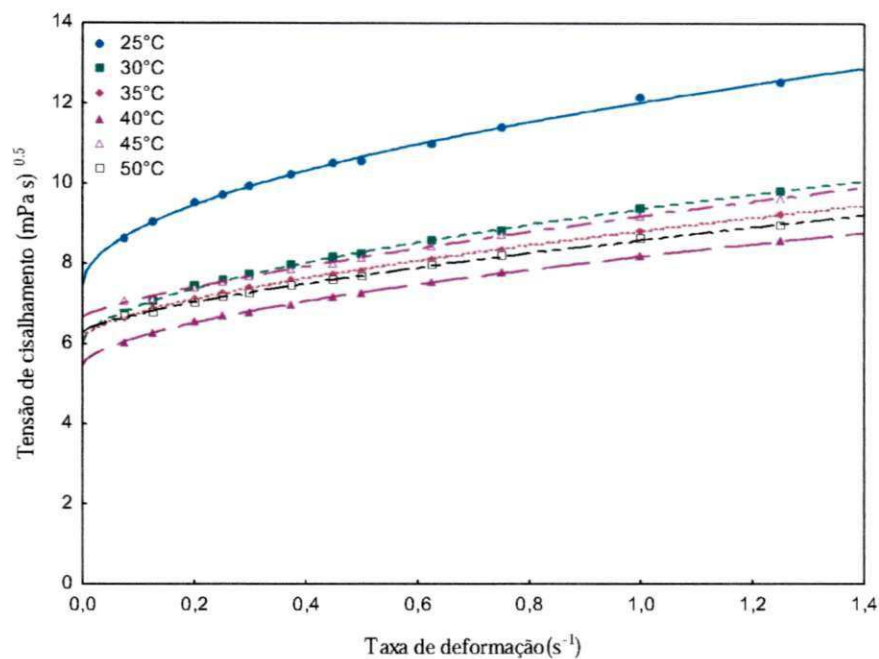


Figura 4.7 - Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de pequi com 65% de teor de água, com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk

Na Figura 4.8 repete-se o comportamento das amostras anteriores destacando-se a curva a 25 °C em relação às demais temperaturas. Entre as temperaturas de 30 a 50 °C não se observou qualquer relação direta da viscosidade com o aumento da temperatura; este comportamento pode ser em razão da proximidade dos valores.

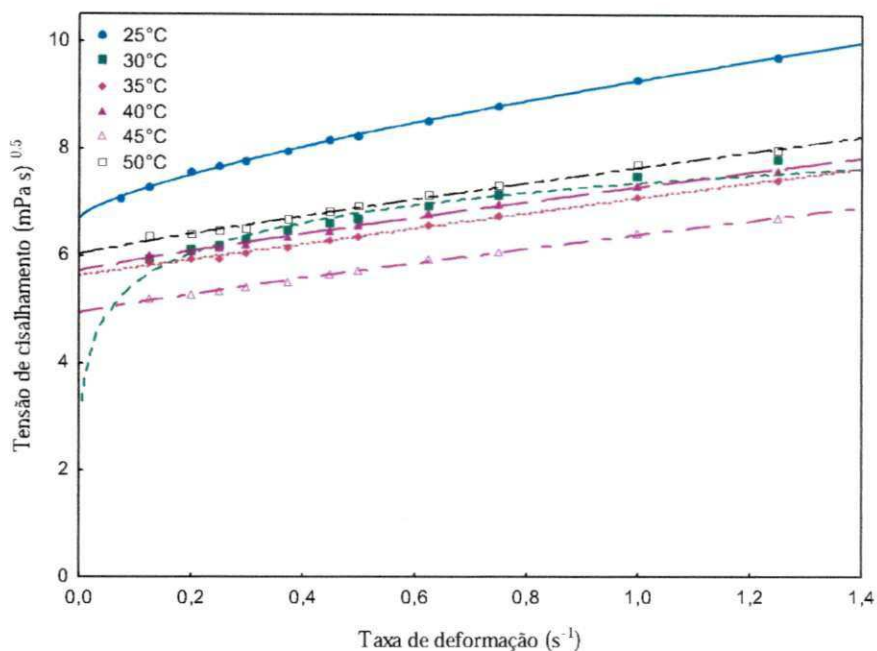


Figura 4.8 - Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de pequi com 70% de teor de água, com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk

4.3 - Propriedades termofísicas

4.3.1- Calor específico

Na Tabela C.1 (Apêndice C), tem-se a análise de variância do calor específico da polpa de pequi para os fatores temperaturas e teor de água. Verifica-se um efeito significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F, para os fatores temperatura e teor água e para interação do mesmo no calor específico da polpa de pequi.

Na Tabela 4.18 verifica-se que, com o aumento da temperatura e do teor de água nas polpas de pequi, houve tendência de aumento do calor específico. Observa-se que o calor específico mínimo foi de 2,20 kJ/kg °C e o calor específico máximo de 3,45 kJ/kg °C.

Nota-se que não houve diferença significativa entre as médias do calor específico na temperatura de 10 °C entre as polpas com 55, 60, 65 e 70% de teor de água.

Na temperatura de 20 °C não houve diferença significativa do calor específico entre as médias das polpas com 55, 60 e 65% de teor de água; na temperatura de 30 °C o calor específico das polpas de pequi com 60, 65 e 70% de teor de água não diferiu estatisticamente entre si; na temperatura de 40 °C as médias do calor específico das polpas de pequi com 60 e 65% de teor de água foram estatisticamente iguais e na temperatura de

50 °C as médias das polpas de pequi com 60, 65 e 70% de teor de água também foram estatisticamente semelhantes.

Tabela 4.18 - Calor específico (kJ/kg °C) das polpas de pequi em função da temperatura e do teor de água

Temperatura (°C)	Teor de água (%)			
	55	60	65	70
10	2,21 dA	2,20 eA	2,22 eA	2,24 eA
20	2,51 cB	2,52 dB	2,54 dB	2,59 dA
30	2,84 bB	2,97 cA	2,93 cA	2,98 cA
40	3,15 aC	3,29 bB	3,29 bB	3,37 bA
50	3,17 aB	3,42 aA	3,42 aA	3,45 aA

DMS para colunas = 0,05 kJ/kg °C; DMS para linhas = 0,05 kJ/kg °C; MG = 2,86 kJ/kg °C; CV = 0,85%

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

Obs: As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Foram encontrados valores de calor específico superiores no estudo de Sousa et al. (2010), para a polpa de umbu, que variou de 3,66 a 4,18 kJ/kg °C para teores de água de 70 a 95% e em diferentes temperaturas (5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75 e 85 °C).

Resultados semelhantes aos encontrados para a polpa de pequi, foram verificados por Souza (2008) que encontrou valores médios experimentais de calor específico mínimo de 2,70 kJ/kg °C e máximo de 3,92 kJ/kg °C, para a polpa de jaca com teores de água de 65 a 95%. Os valores obtidos por Araújo et al. (2004) para os calores específicos experimentais das polpas de cupuaçu integral, com 9 °Brix e peneirada, foram de 3,24 kJ/kg °C, 3,71 kJ/kg °C e 3,18 kJ/kg °C, respectivamente, próximos aos das polpas de pequi com diferentes teores de água e nas temperaturas elevadas (40 e 50 °C).

Bon et al. (2010) constataram que o calor específico da polpa de manga nas temperaturas de 20, 40, 60 e 80 °C e teores de água entre 50 a 90% , foi entre 0 a 4,0 kJ/kg °C; ao compará-lo com o das polpas de pequi com teores de água de 55 a 70%, para os teores de água citados neste estudo, o calor específico se manteve entre 1,0 a 3,5 kJ/kg °C). Portanto, o calor específico da polpa da polpa de manga foi aproximado ao encontrado nas polpas de pequi nos diferentes teores de água.

Muramatsu et al. (2010), mediram as propriedades termofísicas de três tipos de suco (uva, pepino e laranja), em temperaturas variando de 10 a 50 °C e concentrações de

sólidos solúveis de 10 a 50 °Brix, e verificaram que os valores do calor específico variaram de 2,6 a 4,1 kJ/kg °C, sendo observados nas polpas de pequi valores próximos a esses.

Nas Tabelas 4.19 a 4.22 se encontram os valores do calor específico teórico para as polpas de pequi com os diferentes teores de água (55, 60, 65 e 70%), calculados segundo as equações de Dickerson (1968), Kasahara (1986) e Choi & Okos (1986) com seus respectivos erros percentuais (%).

Para a polpa de pequi com 55% de teor de água (Tabela 4.19) observa-se que o calor específico teórico determinado pelas equações de Dickerson, Kasahara e Choi & Okos, entre 2,67 a 3,68 kJ/kg °C e os erros percentuais entre 1,22 e 37,68%. Considerando que o erro percentual máximo para que a equação seja adequada para estimar com precisão os valores teóricos deve ser de 10%, observa-se que apenas a equação de Dickerson para a temperatura de 40 °C, a equação de Kasahara nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C e a equação de Choi & Okos na temperatura de 40 °C são indicadas para estimar os dados do calor específico teórico da polpa de pequi com teor de água de 55%. Observa-se ainda, que nas temperaturas de 10 e 20 °C nenhuma das três equações testadas serve para estimar com precisão o calor específico da polpa de pequi com 55% de teor de água.

Tabela 4.19 - Valores teóricos do calor específico para a polpa de pequi com 55% de teor de água e os erros percentuais

Equação	Temp. (°C)	Calor específico teórico (kJ/g°C)	Erro (%)
Dickerson (1968)	10	3,05	37,68
	20	3,20	27,79
	30	3,33	17,28
	40	3,44	9,12
	50	3,68	16,18
Kasahara (1986)	10	2,67	20,50
	20	2,87	14,65
	30	3,04	7,16
	40	3,19	1,22
	50	2,67	10,78
Choi & Okos (1986)	10	2,96	33,37
	20	3,12	24,48
	30	3,26	14,73
	40	3,38	7,12
	50	3,63	14,81

Na Tabela 4.20 tem-se os valores do calor específico teórico e os erros percentuais calculados para a polpa de pequi com teor de água de 60%. Observa-se que os erros percentuais variaram de 2,20 a 38,60% sendo recomendados para a polpa de pequi com teor de água de 60%, apenas o uso da equação de Dickerson nas temperaturas de 40 e 50 °C, a equação de Kasahara nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C e a equação de Choi & Okos nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, em razão de terem apresentado erros percentuais em torno de 10%. Verifica-se que nas temperaturas de 10 e 20 °C nenhuma das três equações testadas serve para estimar com precisão o calor da polpa de pequi com 60% de teor de água.

Tabela 4.20- Valores teóricos de calor específico para a polpa de pequi com 60% de teor de água e os erros percentuais

Equação	Temp. (°C)	Calor específico teórico (kJ/g °C)	Erro (%)
Dickerson (1968)	10	3,05	38,60
	20	3,20	27,24
	30	3,33	12,96
	40	3,44	5,44
	50	3,68	7,46
Kasahara (1986)	10	2,67	21,30
	20	2,87	14,16
	30	3,04	3,22
	40	3,19	2,20
	50	2,67	2,47
Choi & Okos (1986)	10	2,96	34,26
	20	3,12	23,94
	30	3,26	10,50
	40	3,38	3,51
	50	3,63	6,19

Observa-se na Tabela 4.21 que os erros percentuais encontrados para os valores de calor específico variaram entre 2,45 e 37,30%. Recomenda-se para a polpa de pequi com 65% de teor de água o uso, na predição do calor específico, da equação de Dickerson apenas nas temperaturas de 40 e 50 °C, a equação de Kasahara nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, e a equação de Choi & Okos nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, em razão de terem apresentado erros percentuais iguais ou inferiores a 10,91%. Verifica-se que nas temperaturas de 10 e 20 °C nenhuma das três equações testadas serve para estimar o calor específico da polpa de pequi com 65% de teor de água.

Tabela 4.21 - Valores teóricos de calor específico para a polpa de pequi com 65% de teor de água e os erros percentuais

Equação	Temp. (°C)	Calor específico teórico (kJ/g°C)	Erro (%)
Dickerson (1968)	10	3,05	37,30
	20	3,20	26,12
	30	3,33	13,38
	40	3,44	4,71
	50	3,68	7,44
Kasahara (1986)	10	2,67	20,16
	20	2,87	13,16
	30	3,04	3,59
	40	3,19	2,88
	50	2,67	2,45
Choi & Okos (1986)	10	2,96	33,00
	20	3,12	22,86
	30	3,26	10,91
	40	3,38	2,79
	50	3,63	6,18

Na Tabela 4.22 tem-se os dados do calor específico teórico e os erros percentuais para a polpa de pequi com teor de água de 70%. A equação de Dickerson pode ser utilizada na estimativa do calor específico da polpa de pequi com teor de água de 70% nas temperaturas de 40 e 50 °C, a equação de Kasahara nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C e a equação de Choi & Okos nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, em razão de terem apresentado erros percentuais $\leq 10,80\%$. Não se recomenda nenhuma das três equações testadas na estimativa do calor específico da polpa de pequi com 70% de teor de água na temperatura de 10 °C.

Tabela 4.22 - Valores teóricos de calor específico para a polpa de pequi com 70% de teor de água e os erros percentuais

Equação	Temp. (°C)	Calor específico teórico (kJ/g°C)	Erro (%)
Dickerson (1968)	10	3,05	36,11
	20	3,20	23,49
	30	3,33	11,73
	40	3,44	2,18
	50	3,68	6,50
Kasahara (1986)	10	2,67	19,12
	20	2,87	10,80
	30	3,04	2,09
	40	3,19	5,22
	50	2,67	1,55
Choi & Okos (1986)	10	2,96	31,84
	20	3,12	20,29
	30	3,26	9,30
	40	3,38	0,31
	50	3,63	5,25

4.3.2 - Difusividade térmica

Na Tabela C.2 (Apêndice C), tem-se a análise de variância da difusividade térmica da polpa de pequi para diferentes temperaturas e teores de água. Verifica-se um efeito significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Na Tabela 4.23 são apresentados os valores de difusividade térmica das polpas de pequi em função do teor de água. Observa-se que a difusividade tende a aumentar com o teor de água. Todos os valores médios de difusividade térmica foram estatisticamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nas Figuras C.1 a C.4 (Apêndice C) se encontram os valores da temperatura no centro da polpa de pequi e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo com suas respectivas repetições.

Tabela 4.23 - Difusividade térmica das polpas de pequi

Teor de água (%)	55	60	65	70
Difusividade (m ² s ⁻¹)	1,23x10 ⁻⁷ d	1,26x10 ⁻⁷ c	1,29x10 ⁻⁷ b	1,32x10 ⁻⁷ a

DMS = 0,018 x 10⁻⁷; MG = 1,27 x 10⁻⁷ m²/s; CV = 0,55%; DMS - Diferença mínima significativa; CV - Coeficiente de variação em %; MG - Média geral Obs: As médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Mercali et al. (2011) estudaram as propriedades físicas da polpa de acerola e mirtilo e encontraram para a difusividade térmica das polpas os valores de $1,53 \times 10^{-7}$ e $1,47 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, foram superiores aos das polpas de pequi estudadas. Azoubel et al. (2005) avaliaram o efeito da concentração de sólidos solúveis sobre as propriedades físicas do suco de caju para as concentrações de 5 a 30 °Brix, observando uma variação para difusividade de $1,31 \times 10^{-7}$ a $1,44 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. No menor teor de água a polpa de caju apresentou uma difusividade semelhante à da polpa de pequi com 70% de teor de água e difusividade térmica de $1,31 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Giraldo-Gómez et al. (2010) avaliaram as propriedades termofísicas de suco de abacaxi; a difusividade da polpa foi de $1,10 \times 10^{-7}$ a $1,33 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, sendo que as amostras apresentaram teores de água de 55 a 90%. Portanto, o suco de abacaxi apresentou difusividade térmica aproximada das encontradas para polpa de pequi.

Na Tabela 4.24 se encontram as difusividades térmicas medidas experimentalmente e os valores teóricos obtidos por meio de equações e os erros percentuais. Observa-se que os valores da difusividade térmica teórica calculados foram iguais ou inferiores aos valores experimentais. As equações que melhor estimaram os dados experimentais foi a de Telis-Romero (1998) e Riedel (1969) que apresentaram valores próximos aos experimentais com erros percentuais inferiores a 4%; as demais equações resultaram em erros entre 2,50 e 9,13%; em todas as amostras os maiores erros ocorreram sempre nas amostras com menores teores de água, diminuindo com o aumento do teor de água.

Tabela 4.24 - Difusividades térmicas experimentais e valores teóricos obtidos por meio de equações e erros percentuais

Equação	X_w	Difusividade térmica ($m^2 s^{-1}$)		
		Experimental	Teórico	Erro (%)
Riedel (1969)	0.55	$1,23 \times 10^{-7}$	$1,19 \times 10^{-7}$	3,23
	0.60	$1,26 \times 10^{-7}$	$1,23 \times 10^{-7}$	3,27
	0.65	$1,29 \times 10^{-7}$	$1,26 \times 10^{-7}$	3,06
	0.70	$1,32 \times 10^{-7}$	$1,28 \times 10^{-7}$	2,86
Martens (1980)	X_w	Experimental	Teórico	Erro (%)
	0.55	$1,23 \times 10^{-7}$	$1,16 \times 10^{-7}$	5,96
	0.60	$1,26 \times 10^{-7}$	$1,19 \times 10^{-7}$	5,92
	0.65	$1,29 \times 10^{-7}$	$1,22 \times 10^{-7}$	5,65
Telis-Romero (1998)	X_w	Experimental	Teórico	Erro (%)
	0.55	$1,23 \times 10^{-7}$	$1,18 \times 10^{-7}$	3,62
	0.60	$1,26 \times 10^{-7}$	$1,22 \times 10^{-7}$	3,54
	0.65	$1,29 \times 10^{-7}$	$1,25 \times 10^{-7}$	3,21
	0.70	$1,32 \times 10^{-7}$	$1,28 \times 10^{-7}$	2,90
	0.55	$1,23 \times 10^{-7}$	$1,12 \times 10^{-7}$	9,06
	0.60	$1,26 \times 10^{-7}$	$1,15 \times 10^{-7}$	9,13
	0.65	$1,29 \times 10^{-7}$	$1,17 \times 10^{-7}$	8,97
0.70	$1,32 \times 10^{-7}$	$1,20 \times 10^{-7}$	8,81	

* X_w - Teor de água (decimal)

4.3.3 – Condutividade térmica

Na Tabela 4.25 tem-se a condutividade térmica das polpas de pequi com teores de água de 55, 60, 65 e 70% nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C. Observa-se que a condutividade térmica apresentou valores variando entre 0,365 a 0,472 W/m °C; nota-se que houve tendência de aumento da condutividade térmica com o aumento do teor de água entre 55, 65% nas temperaturas de 10, 20 e 40 °C. Com base nos resultados obtidos ficou evidenciado que a condutividade térmica não apresentou tendência definida com o aumento do teor de água e da temperatura nas polpas estudadas.

Giraldo-Gómez et al. (2010) verificaram, ao determinar a condutividade térmica do suco de lulo (*Solanum quitoense* Lam) com frações mássicas de água variando entre 0,50 a 0,90 kg/kg e temperaturas de 4 a 78,6 °C, comportamento semelhante da condutividade térmica com o aumento do teor de água das polpas de pequi e com o aumento da temperatura.

Villa-Vélez et al. (2012) concluíram, avaliando a condutividade térmica do suco de uvaia, que houve aumento da condutividade com o aumento da temperatura entre 0 e 40 °C, sendo semelhante ao comportamento verificado para as polpas de pequi.

Bon et al. (2010) observaram, ao estudar a condutividade térmica da polpa de manga (Tommy Atkins) nas temperaturas de 20, 40, 60 e 80 °C e nos teores de água entre 1,0 a 9,0 kg/kg (b.s.), que a condutividade térmica variou de 0,35 a 0,65 W m⁻¹ K⁻¹ e que semelhantemente, ocorreu um aumento condutividade com o aumento da temperatura e com o aumento do teor de água da polpa também ocorreu aumento da condutividade térmica.

Tabela 4.25 - Condutividade térmica (W/m °C) da polpa de pequi com diferentes teores de água e temperatura

Temperatura (° C)	Teor de água (%)			
	55	60	65	70
10	0,378	0,433	0,438	0,425
20	0,371	0,405	0,412	0,472
30	0,401	0,422	0,408	0,431
40	0,391	0,417	0,448	0,439
50	0,365	0,462	0,398	0,428

Valores superiores de condutividade térmica aos das polpas de pequi foram encontrados por Muramatsu et al. (2010), ao medir as propriedades termofísicas de sucos de uva e laranja, sob temperaturas variando de 10 a 50 °C e concentrações de sólidos totais de 10 a 50%, com valores de condutividade térmica variando entre 0,42 e 0,62 W/m °C para suco de uva e de 0,46-0,61 W/m °C para suco de laranja e com a condutividade térmica aumentando linearmente com o aumento da temperatura e diminuindo com o aumento da concentração. Telis-Romero et al. (1998) encontraram, ao determinar a condutividade térmica de suco de laranja nas temperaturas de 0,5 a 62,0 °C, com teor de água de 0,34 a 0,73%, valores entre 0,25 e 0,50 W/m °C, estando os valores para as polpas de pequi dentro desta faixa.

Cabral et al. (2007) verificaram, para o suco de amora preta com sólidos solúveis totais de 9,4 e 58,4 °Brix e nas temperaturas entre 0,5 e 80,8 °C, que a condutividade térmica variou entre 0,389 e 0,652 W/m °C, com a condutividade térmica também aumentando com o aumento da temperatura e diminuindo com o aumento dos sólidos solúveis totais, comportamento semelhante ao das polpas de pequi e valores dentro da faixa do encontrado para suco de amora preta.

Resultados de condutividade térmica próximos à faixa de valores das polpas de pequi, foram relatados por Moura et al. (2005) para soluções-modelo similares a sucos, com os teores de água de 82 a 98,5% e temperatura de 50 °C, cuja a condutividade térmica se situou entre 0,2486 a 0,5504 W/m °C.

Nas Tabelas 4.26 a 4.29 se encontram as condutividades térmicas teóricas das polpas de pequi com diferentes teores de água, calculadas segundo as equações de Kolarov & Gromov (1973) e Telis-Romero et al. (1998) com seus respectivos erros percentuais (%). Na equação de Telis-Romero ocorre um aumento da condutividade térmica com aumento do teor de água e da temperatura, em que os valores se mantiveram entre 0,3736 e 0,4754 W/m °C.

Na polpa de pequi com 55% de teor de água (Tabela 4.26) os erros percentuais se situaram entre 0,0 e 7,48% significando que, para as temperaturas estudadas, as equações Kolarov & Gromov (1973) e Telis-Romero et al. (1998) podem ser usadas na predição dessa propriedade termofísica para a polpa de pequi com este teor de água, em razão de ter apresentado erro percentual inferior a 10% sendo as mesmas recomendadas e testadas para a estimativa da condutividade térmica para a polpa de pequi com teor de água de 55%.

Tabela 4.26 – Valores teóricos da condutividade térmica para a polpa de pequi com teor de água de 55% e os erros percentuais

Equação	Temp. (°C)	Condutividade térmica teórica (W/m °C)	Erro (%)
Kolarov & Gromov (1973)	10	0,3710	1,85
	20	0,3710	0,00
	30	0,3710	7,48
	40	0,3710	5,12
	50	0,3710	1,64
Telis-Romero et al. (1998)	10	0,3736	1,17
	20	0,3794	0,70
	30	0,3852	6,84
	40	0,3910	4,45
	50	0,3968	2,35

Na Tabela 4.27 tem-se os valores teóricos da condutividade térmica para a polpa de pequi com 60% de teor de água, calculados com as equações de Kolarov & Gromov (1973) e Telis-Romero et al. (1998). Verifica-se que os erros percentuais para as equações mencionadas foram superiores a 10% na temperatura de 50 °C, com valores de 15,15 e 13,47%, respectivamente. Diante do exposto é possível afirmar que, para as demais temperaturas (10,20, 30 e 40 °C), pode-se fazer uso das equações testadas para estimar a condutividade térmica visando a polpa de pequi com teor de água de 60%.

Tabela 4.27 – Valores teóricos da condutividade térmica para a polpa de pequi com teor de água de 60% e os erros percentuais

Equação	Temp. (°C)	Condutividade térmica teórica (W/m °C)	Erro (%)
Kolarov & Gromov (1973)	10	0,3920	9,47
	20	0,3920	3,21
	30	0,3920	7,11
	40	0,3920	6,00
	50	0,3920	15,15
Telis–Romero et al. (1998)	10	0,3998	7,67
	20	0,4056	1,29
	30	0,4114	5,27
	40	0,4172	4,13
	50	0,4230	13,47

Na Tabela 4.28 tem-se os valores teóricos da condutividade térmica para a polpa de pequi com 65% de teor de água. Observa-se que o erro percentual mínimo foi de 0,24% e o máximo de 7,03%. Sugere-se utilizar as equações de Kolarov & Gromov e Telis –Romero para estimar a condutividade térmica da polpa de pequi com teor de água de 65%, em razão de terem apresentado erros percentuais inferiores a 10%, em todas as temperaturas estudadas.

Tabela 4.28– Valores teóricos da condutividade térmica para a polpa de pequi com teor de água de 65% e os erros percentuais

Equação	Temp. (°C)	Condutividade térmica teórica (W/m °C)	Erro (%)
Kolarov & Gromov (1973)	10	0,4130	5,71
	20	0,4130	0,24
	30	0,4130	1,23
	40	0,4130	7,81
	50	0,4130	3,77
Telis–Romero et al. (1998)	10	0,4260	2,75
	20	0,4318	3,39
	30	0,4376	4,40
	40	0,4434	4,92
	50	0,4492	7,03

Na Tabela 4.29 tem-se os valores teóricos da condutividade térmica da polpa de pequi com 70% de teor de água, calculados com diferentes equações e os erros percentuais. Pode-se, então utilizar com precisão, para predizer a condutividade térmica da polpa de pequi com 70% de teor de água, as equações de Kolarov & Gromov e Telis- Romero para as temperaturas estudadas, visto que apresentaram erros percentuais de 0,70 a 8,05%.

Os resultados dos erros percentuais encontrados para polpa de pequi com 70% de teor de água, foram bastante inferiores ao encontrado por Souza (2008) para polpa de umbu com teor de água de 70% em que, para o modelo de Telis-Romero, obteve erro percentual para condutividade térmica nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C de 81,74; 83,25 e 77,18% e para a polpa de jaca o erro percentual para condutividade térmica com o teor de água de 70% e nas mesmas temperaturas, foi de 93,49; 95,08 e 80,79%.

Tabela 4.29 – Valores teóricos da condutividade térmica para a polpa de pequi com teor de água de 70% e os erros percentuais

Equação	Temp. (°C)	Condutividade térmica teórica (W/m °C)	Erro (%)
Kolarov & Gromov (1973)	10	0,4340	2,12
	20	0,4340	8,05
	30	0,4340	0,70
	40	0,4340	1,14
	50	0,4340	1,40
Telis-Romero et al. (1998)	10	0,4522	6,39
	20	0,4580	4,20
	30	0,4638	4,91
	40	0,4696	3,00
	50	0,4754	5,64

5 – CONCLUSÕES

- A polpa de pequi integral apresentou, como constituinte predominante, os lipídeos, baixo teor de minerais e predominância da intensidade de amarelo.

- As polpas de pequi com teor de água de 55; 60; 65 e 70% apresentaram tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação comportando-se como fluidos não newtonianos com características pseudoplásticas.

- Em todas as velocidades de rotação as viscosidades aparentes apresentaram tendência de diminuição com o aumento do teor de água.

- A equação de Arrhenius pode ser utilizada com precisão para expressar a influência da temperatura sobre a viscosidade aparente das polpas de pequi, com consequente quantificação das energias de ativação.

- Os modelos reológicos de Ostwald-de-Waele, Casson, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Vocado, podem ser utilizados com precisão ($R^2 > 0,90$ e $P < 10\%$), com destaque para o modelo de Mizrahi-Berk, para representar os reogramas das polpas de pequi.

- O calor específico apresentou tendência de aumento com o aumento da temperatura em todas as amostras e com o aumento do teor de água das polpas de pequi constatou-se tendência de aumento do calor específico, em todas as temperaturas.

- A difusividade térmica da polpa de pequi aumentou com o aumento do teor de água. As equações de Riedel, Martens, Telis-Romero e Giraldo-Gómez podem ser usadas na estimativa das difusividades térmicas das polpas de pequi, com a equação de Riedel apresentando os menores erros ($< 4\%$).

- Com base nos resultados obtidos ficou evidenciado que a condutividade térmica não apresentou uma tendência definida com aumento do teor de água e da temperatura nas polpas estudadas.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S.; HIREMATH, N. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 885–895, 2005.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies úteis**. Planaltina: EMBRAPA/CPA, 1998. 112 p.

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

ALVES, C. C. O.; RESENDE, J. V.; PRADO, M. E.T.; CRUVINEL, R. S. R. The effects of added sugars and alcohols on the induction of crystallization and the stability of the freeze-dried peki (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit pulps. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 6, p. 934–941, 2010.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 14. ed. Arlington: Williams, S. 1997. 1141 p.

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

ARAÚJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 2, p. 127-134, 2002.

ARARA. Pequi. Disponível em: <<http://www.arara.fr/BBPEQUI.html>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

ARÉVALO-PINEDO, A.; MACIEL, V. B. V.; CARVALHO, K. M.; COELHO, A. F. S.; GIRALDO-ZUÑIGA, A. D.; ARÉVALO, Z. D.; ALVIM, T. C. Processamento e

estudo da estabilidade de pasta de pequi (*Caryocar brasiliense*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 664-668, 2010.

AUGUSTO, P. E. D.; IBARZ, A.; CRISTININI, M. Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 2, p. 283-289, 2012.

AUGUSTO, P. E.D.; IBARZ, A.; CRISTININI, M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of a fruit juice serum model. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 474-477, 2012.

AZOUBEL, P. M.; CIPRIANI, D. C.; EL-AOUAR, Â. A.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 413-417, 2005.

BALESTRA, F.; COCCI, E.; MARSILIO, G.; DALLA ROSA, M. Physico-chemical and rheological changes of fruit purees during storage. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 576 - 582, 2011.

BERNARDI, M. **Estudo da hidrodinâmica e transferência de calor de ovo líquido através de placas com três formatos cheyron**. 2008. 59 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

BEZERRA, J. R. M. V.; QUEIROZ, A. J. M.; GASPARETTO, C.A. Reologia de polpa de manga e ajuste dos parâmetros reológicos em função da temperatura. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 3, n. 1, p. 37-42, 2001.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A. Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-503, 1998.

BEZERRA, J. R. V.; RIGO, M.; DEMCZUK JUNIOR, B.; CÓRDOVA, K. R. V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*). **Revista Ambiente**, v. 5 n. 1. p. 37-47, 2009.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed, São Paulo: Varela, 2001. 478 p.

BON, J.; VÁQUIRO, H.; BENEDITO, J.; TELIS-ROMERO, J. Thermophysical properties of mango pulp (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins). **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 4, p. 563–568, 2010.

BORÉM, F. M.; RIBEIRO, R. C. M. S.; CORREA, P. C.; PEREIRA, R. G. F. A. Propriedades térmicas de cinco variedades de café cereja descascado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 475-480, 2002.

BRAIT, J. D. A. **Características físicas e químicas de pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb) de ocorrência natural em Rio Verde – GO**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2008.

BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico de suco de laranja concentrado congelado. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 5, n. 2, p. 173-178, 2003.

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. Instrução normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000. Estabelece o Regulamento Técnico para a Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para a polpa de fruta. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 jan. 2000. Seção 1, n. 6. p. 54-58.

BRUNINI, M. A.; DURIGAN, J. F.; OLIVEIRA, A. L. Avaliação das alterações em polpa de manga “Tommy-Atkins” congeladas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 651-653, 2002.

CABRAL, R. A. F.; ORREGO-ALZATE, C. E.; GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J. Propriedades reológicas e termofísicas de suco de amora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 589-596, 2007.

CARVALHO, P. E. R. Pequizeiro (*Caryocar brasiliense*). **Colombo**, v. 230, p. 1-10, 2009. (Comunicado Técnico).

CHOI, Y.; OKOS, M. R. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: LEMAUGUER, M. **Food Engineering and Process Application: Transport Phenomena**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1986. v. 1. Cap. 9, p. 93-101.

CHIN, N. L.; CHAN, S. M.; YUSOF, Y. A.; CHUAH, T. G.; TALIB, R. A. Modelling of rheological behaviour of pumelo juice concentrates using master-curve. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 1, p. 134-140, 2009.

CONSTENLA, D. T.; LOZANO, J. E.; CRAPISTE, G. H. Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 3, p. 663-668, 1989.

CULLEN, P. J. Fluid rheology in novel thermal and non-thermal processes. In: CULLEN, P.J.; TIWARI, B. K.; VALDRAMIDIS, V. P. **Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods**. San Diego: Academic Press, 2012. Cap. 3, p.35-61.

DAK, M.; VERMA, R. C.; SHARMA, G. P. Flow characteristics of juice of "Totapuri" mangoes. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 4, p. 557-561, 2006.

DAMIANI, C. **Qualidade e perfil volátil de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) minimamente processado, armazenado sob diferentes temperaturas**. 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

DANTAS JUNIOR, E. E.; QUEIROZ, A. J. M., FIGUEIREDO, R. M. F. Determinação da difusividade térmica da polpa de manga espada. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 22, n. 1, p. 43-46, 2007.

DICKERSON, R. W. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. **Food Technology**, v. 19, n. 5, p. 198-204, 1965.

DICKERSON, R. W. Thermal properties of foods the freezing preservation of foods. Connecticut: **The AVI Publishing Company**, 1968. v. 2.

ESCALADA PLA, M.F.; GONZÁLEZ, P.; SETTE, P.; PORTILLO, F.; ROJAS, A. M.; GERSCHENSON, L. N . Effect of processing on physico-chemical characteristics of dietary fibre concentrates obtained from peach (*Prunus persica* L.) peel and pulp. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 184-192, 2012.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERNANDES, T. K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; MELO, K.S.; BEZERRA, M. C. T. Estudo do comportamento reológico da polpa de umbu cajá em função da concentração de maltodextrina. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 2, p. 171-180, 2008.

FERNANDES, T. N.; RIBEIRO, F. C. R.; LEMOS, F. S.; PRADO, M. E. T.; RESENDE, J. V.; BELCHIOR, N. C. Comportamento reológico, parâmetros físico-químicos e dinâmica do congelamento da polpa de maracujá adicionada de sacarose e pectina. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.esp, p. 41-50, 2009.

FERREIRA, G. M. **Estudo das propriedades reológicas do sistema polpa de cupuaçu–biopolímeros**. 2008. 120 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

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 de cupuaçu (*T. grandiflorum* Schum) integral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 385-389, 2008.

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 Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 175-184, 2002.

FERREIRA, H. H. M. E. **Escoamento de fluidos newtonianos e viscoelásticos em torno de um cilindro: Estudo numérico de efeitos tridimensionais**. 2006. 178 f. Dissertação (Mestrado em Fundamentos e Aplicações em Mecânica dos Fluidos) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2006.

FREIRE, M. T. A.; PETRUS, R. R.; FREIRE, C. M. A.; OLIVEIRA, C. A. F.; FELIPE, A. M. P. F.; GATTI, J. B. Caracterização físico-química, microbiológica e sensorial de polpa de cupuaçu congelada (*Theobroma grandiflorum* Schum). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 1, p. 9-16, 2009.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008. 301 p.

GIRALDO-GÓMEZ, G. I.; GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; TELIS-ROMERO, J. Propriedades termofísicas de suco concentrado de lulo em temperaturas acima do ponto de congelamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 90-95, 2010.

GONÇALVES, G. A. S.; VILAS BOAS, E. V. B.; RESENDE, J. V.; MACHADO, A. L. L.; VILAS BOAS, B. M. Qualidade do pequi submetido ao cozimento após congelamento por diferentes métodos e tempos de armazenamento. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 581-588, 2010.

GONÇALVES, G. A. S.; VILAS BOAS, E. V. B.; RESENDE, J. V.; MACHADO, A. L.; VILAS BOAS, B. M. Qualidade dos frutos do pequi submetidos a diferentes tempos de cozimento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 377-385, 2011.

GUZEY, D.; MCCLEMENTS, J.; Impact of electrostatic interactions on formation and stability of emulsions containing oil droplets coated by β -lactoglobulin-pectin complexes. **Agriculture Food Chemistry**, v. 55, n. 2, p. 475-485, 2007.

GRANGEIRO, A. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F.; MATA, M. E. M. C. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-índia. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 2, p. 219-224, 2007.

GRATÃO, A. C. A.; SILVEIRA JUNIOR, A. V.; TELIS-ROMERO, J. Laminar flow of soursop juice through concentric annuli: friction factors and rheology. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 4, p. 1343–1354, 2007.

GRIZOTTO, R. K.; AGUIRRE, J. M.; MENEZES, H. C. Frutas estruturadas de umidade intermediária obtidas de polpas concentradas de abacaxi, manga e mamão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 691-697, 2005.

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.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSK, M. R.; VIDAL, J. R. M. B.; MASSON, M. L. Influence of temperature on the rheological behavior of whole araçá pulp (*Psidium cattleianum* Sabine). **LWT- Food Science and Technology**, v. 39, n. 4, p. 426–430, 2006.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) e amora-preta (*Rubus spp*)**. 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

INCROPERA, F. P.; DREWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2008. 252 p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da extração vegetal e silvicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. v. 25, 50 p.

IZIDORO, D. R. **Influência da polpa de banana (*Musa cavendishii*) verde no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão**. 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

IZIDORO, D. R.; SCHEER, A. P.; SIERAKOWSKI, M. R.; HAMINIUK, C. W. I. Influence of green banana pulp on the rheological behaviour and chemical characteristics of emulsions (mayonnaises). **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 6, p. 1018-1028, 2008.

JARAMILLO-FLORES, M. E.; HERNANDEZ-SANCHEZ, H. Thermal diffusivity of soursop (*Annona muricata* L.) pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 46, n. 2, p. 139-143, 2000.

KARWOWSKI, M. S. M. **Estudo da estabilidade, comportamento reológico e dos compostos fenólicos de frutas da mata atlântica**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

KASAHARA, I. G. Transferencia de calor y propiedades térmicas aplicadas a la congelación de productos vegetales. In: KASAHARA, I. G. **Temas en transferencia de calor y propiedades termofísicas en refrigeración y congelación de alimentos**. Santiago do Chile: Maval, 1986. p.61-79.

KECHINSKI, A. P.; SCHUMACHER, A. B.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, N.; CARDOZO, N. S. M. Rheological behavior of blueberry (*Vaccinium ashei*) purees containing xanthan gum and fructose as ingredients. **Food Hydrocolloids**, v. 25 , n. 3, p. 299-306, 2011.

KOOCHEKI, A.; TAHERIAN, A. R.; BOSTAN, A. Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum. **Food Research International**, v. 50, n.1, p. 446–456, 2013.

KOLAROV, K. M; GROMOV, M.A. Universal equation for calculation of thermal conductivity of fruit and vegetable juices and syrups. **Khranitelna Promishh - lenost**, v. 20, p. 22-32, 1973.

LIMA, A.; SILVA, A. M. O.; TRINDADE, R. A.; TORRES, R. P; FILHO, J. M. Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e amêndoa do pequi (*Caryocar brasiliense*), **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 695-698, 2007.

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

MARCOTTE, M.; HOSHAHILI, A. R. T.; RAMASWAMY, H. S. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. **Food Research International**, v. 34, n. 8, p. 695-703, 2001.

MARIANO, R. G. **Extração do óleo da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense*) por processos convencionais combinados com tecnologia enzimática**. 2008. 55 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MARTENS, T. **Mathematical model of heat processing in flat containers**. Doctoral Thesis, Katholieke University, Leunen, 1980.

MELO, K. S.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Comportamento reológico da polpa de buriti com leite. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 197-206, 2008.

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.

MIRANDA, C. M. P. B.; SILVA, J. F.; OLIVEIRA, T. M. Análise sensorial de mousse de pequi com diferentes concentrações. *Revista Digital de Nutrição*, v. 3, n. 4, p. 362-370, 2009.

MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1980. 407p.

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

MOURA, S. C. S. R.; FRANÇA, V. C. L.; LEAL, A. M. C. B. Propriedades termofísicas de soluções-modelo similares a sucos: parte II. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 454-459, 2005.

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.

MUÑOZ, J.; RINCÓN, F. M.; ALFARO, M. C.; ZAPATA, I.; FUENTE, J. L.; BELTRÁN, O.; PINTO, G. L. Rheological properties and surface tension of Acacia tortuosa gum exudate aqueous dispersions. **Carbohydrate Polymers**, v. 70, n. 2, p. 198-205, 2007.

MURAMATSU, Y.; SAKAGUCHI, E.; ORIKASA, T.; TAGAWA, A. Simultaneous estimation of the thermophysical properties of three kinds of fruit juices based on the

measured result by a transient heat flow probe method. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 4, p. 607–613, 2010.

NINDO, C. I.; TANG, J.; POWERS, J. R.; SINGH, P. Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 3, p. 343–350, 2005.

NJIE, D. N.; RUMSEY, T. R.; SINGH, R. P. Thermal properties of cassava yam and plantain. **Journal of Food Engineering**, v. 37, n. 1, p. 63-76, 1998.

OLIVEIRA, E. **Exploração de espécies nativas como uma estratégia de sustentabilidade socioambiental – o caso do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) em Goiás**. 2006. 294 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

OLIVEIRA, E. P. **Estimação da difusividade térmica de iogurtes comerciais: aplicação do método flash**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, 2009.

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N. B.; BARROS, L. M.; ALVES, R. E. **Aspectos agronômicos e de qualidade do pequi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 32 p. (Documentos, 113).

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N. B.; MAIA, A. H. N.; ALVES, R. E.; MATOS, N. M. S.; SAMPAIO, F. G. M.; LOPES, M. M. T. Características químicas e físico-químicas de pequis da Chapada do Araripe, Ceará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 114-125, 2010.

OLIVEIRA, R. C.; BARROS, S. T. D.; ROSSI, R. M. Aplicação da metodologia bayesiana para o estudo reológico da polpa de uva. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 73-80, 2009.

OLIVEIRA, R. C.; ROSSI, R.; BARROS, S. T. D. Estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 1, p. 31-37, 2011.

OLIVEIRA, R. C.; ROSSI, R. M.; BARROS, S. T. D. Estudo reológico da polpa de morango (*fragaria vesca*) em diferentes temperaturas. **Maringá**, v. 34, n. 3, p. 283-288, 2012.

OLIVEIRA, S. D.; CAMARGO, D.; MACHADO, P. P.; BORGES, S. V. Condutividade térmica do suco de laranja. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 3, n. 1, p. 101-104, 2001.

PAES, S. S.; MATSUI, K. N.; LAROTONDA, F. D. S.; LAURINDO, J. B. Um dispositivo simples para a determinação simultânea e contínua da densidade de líquidos e da concentração de suspensões líquidas. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 261-264, 2004.

PARK, K. J.; MURR, F. E. X.; SALVADEGO, M. Medição da condutividade térmica de milho triturado pelo método da sonda. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 3, p. 242-247, 1997.

PARTELLI, F. L.; TAKEUCHI, K. P.; NAVES, R. V.; CHAVES, L. J. Frutas do Cerrado: alternativa sustentável. **A Lavoura**, v. 113, n. 676, p.12-13, 2010.

PELEGRINE, D. H.; SILVA, F. C.; GASPARETTO, C. A. Rheological behavior of pineapple and mango pulps. **LWT - Food Science and Technology**, v. 35, n. 8, p. 645-648, 2002.

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

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 526-530, 2002.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Comportamento reológico de mel da abelha urucu (*Melipona scutellaris* L.). **Revista Ciências Exatas e Naturais**, n. 2, v. 5, p.180-186, 2003.

PEREIRA, T. L. **Reologia aplicada nas indústrias: farmacêutica, alimentícia, cosmética e química**. UNINOVE. 2005. Disponível em: <<http://amigonerd.net/trabalho/22894-reologia-aplicada-nas-industrias-farmaceutica>>. Acesso em: 14 nov. 2011.

RAMOS, A. M.; IBARZ, A. Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. **Journal of Food Engineering**, v. 35, n. 1, p. 57-63, 1998.

RAMOS, K. M. C.; SOUZA, V. A. B. Características físicas e químico-nutricionais de frutos de pequi (*Caryocar coriaceum* Wittm.) em populações naturais da região meio-norte do Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 500-508, 2011.

RAMOS, M. I.; UMAKI, M. C. S.; HIANE, P. A. Efeito do cozimento convencional sobre os carotenoides próvitamínicos A da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb). **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 23-32, 2001.

RIBEIRO, D. M. **Propriedades físicas, químicas e bioquímicas de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) de diferentes regiões**. 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

RIEDEL, L. Measurements of thermal diffusivity on foods tufts rich in water. **Kq̄ltetechnik-Klimatisierung**, v. 21, n. 11, p. 315- 316, 1969.

RIGUEIRA, J. A. **Pequi, cultivo, caracterização físico-química e processamento**. 2003. 62 f. Monografia (Especialização em Qualidade de Alimentos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

RINCÓN, F.; MUÑOZ, J.; PINTO, G. L.; ALFARO, M. C.; CALERO, N. Rheological properties of *Cedrela odorata* gum exudate aqueous dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 3, p. 1031-1037, 2009.

RODRIGUES, L. J. **O pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.): ciclo vital e agregação de valor pelo processamento mínimo**. 2005. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L. Influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 890-896, 2007.

SANTOS, B. R.; PAIVA, R.; DOMBROSKI, J. L. D.; MARTINOTTO, C.; NOGUEIRA, R. C.; SILVA, A. A. N. Pequizeiro (*Caryocar brasiliense* C.A.M.B.): uma espécie promissora do cerrado brasileiro. **Boletim Agropecuário**, v.64, p.5-33, 2006.

SANTOS, B. R.; PAIVA, R.; DOMBROSKIS, J. L. D.; MARTINOTTO, C.; NOGUEIRAS, R. C.; SILVA, A. A. N. **Pequizeiro (*Caryocar brasiliense*): uma espécie promissora do cerrado brasileiro**, 2004. Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/bol/tecnico/pdf/bol_64.pdf>. Acesso em: 30 set. 2012.

SANTOS, C. A. A.; COELHO, A. F. S.; CARREIRO, S. C. V. Avaliação microbiológica de polpas de frutas congeladas. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 913-915, 2008.

SANTOS, M. R. L. **Efeitos da irradiação gama do ⁶⁰C em frutos de pequi (*Caryocar Brasiliensis* Camb.)**. 2008. 92 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SANTOS, P.; PORTO, A. G.; SILVA, F. S.; FURTADO, G. F. Avaliação físico-química e sensorial do pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) submetido à desidratação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 2, p. 115-123, 2010.

SANTOS, W. N. Métodos transientes de troca de calor na determinação das propriedades térmicas de materiais cerâmicos: I - O método de pulso de energia. **Cerâmica**, v. 51, n. 319, p. 205-213, 2005.

SARRIA, S. D.; HONÓRIO, S. Condutividade e difusividade térmica do figo (*Ficus carica*) “roxo de valinhos. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 185-194, 2004.

SATO, A. C. K. **Reologia de suspensões-modelo: efeito da concentração de sólidos e da matriz dispersante**. 2009. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2009.

SCREMIN, F. F. **Influência do estado de maturação e das etapas de processamento na reologia e caracterização físico-química da polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) pasteurizada**. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

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. 115-179, 1996.

SILVA NETO, S. P; COSTA, C. J. **Importância econômica, social e ambiental do pequi**. 2010. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/279/>>. Acesso em: 2 nov. 2012.

SILVA, C. R. M.; NAVES, M. M. V. Suplementação de vitaminas na prevenção de câncer. **Revista de Nutrição**, v. 1, n. 2, p. 135-143, 2001.

SILVA, C. T. **Desenvolvimento de fluidos de perfuração a base de óleos vegetais**. 2003. 87 f. Monografia (Programa de Recursos Humanos)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2003.

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

SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 121-126, 2005.

SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUSA, P. H. M.; GONZAGA, M. L. C.; FIGUEIREDO, E. A. T. Estudo do comportamento reológico de polpas de caju (*Anacardium occidentale*, L.), acerola (*Malpighia emarginata*, D.C.) e manga (*Mangifera indica*, L.). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 237-248, 2012.

SILVA, M.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; PEDROZA, J. P.; NASCIMENTO, J. P. T. Resfriamento e propriedades termofísicas do cajá (*Spondias lutea* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 2, p. 175-185, 2002.

SILVA, N. M. C. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de jenipapo (*Genipa americana* L.)**. 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2008.

SILVA, S. B. **Propriedades termofísicas da polpa de abacaxi**. 1997. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 1997.

SIMÕES, M. R. **Propriedades termofísicas de polpa de manga**. 1997. 73 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 1997.

SOUZA FILHO, M. S.; LIMA, J. R.; TIEKO NASSU, R.; BORGES, F. Avaliação físico-química e sensorial de néctares de frutas nativas da região norte e nordeste do Brasil: Estudo exploratório. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, n. 91, p. 139-143, 2002.

SOUZA, D. **Estudo das propriedades termofísicas de polpas e néctares de pequenos frutos**. 2008. 191 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Química) - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SOUZA JÚNIOR, J. R. **Conhecimento e manejo tradicional de *Caryocar coriaceum* Wittm. (Pequi) na Chapada do Araripe, Nordeste do Brasil**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

SOUZA, M. A. **Determinação das propriedades termofísicas de polpas de frutas tropicais: jaca (*Artocarpus heterophilus* Lamk) e umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.)**. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2008.

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.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. Michigan: East Lansing, 1996. 418 p.

TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N.; GABAS, A. L.; F. YAMASHITAH, F. Thermophysical properties of brazilian orange juice as affected by temperature and water content. **Journal of Food Engineering**, v. 38, n. 1, p. 27-40, 1998.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p. 181-204. 2005.

TRES, M. V.; BORGES, G. R.; CORAZZA, M. L.; ZAKRZEWSKI, C. A. Determinação da difusividade térmica de alimentos: medidas experimentais e simulação numérica perspectiva. **Erechim**, v. 35, n. 131, p. 43-56, 2011.

VIDAL, J. R. M. B. **Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L. Keitt)**. 2000. 159 f. Tese (Doutorado. em Engenharia de Alimentos) –

Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2000.

VIDAL, J. R. M. B.; SIERAKOWSKI, M. R.; HAMINIUK, C. W. I.; MASSON, M. L. Propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 5, p. 955-960, 2006.

VIEIRA, J.A.G. Propriedades termofísicas e convecção no escoamento laminar em tubos de suco de laranja. 1996. 102 f. Tese (Doutorado. em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 1996.

VILLA-VELEZ, H. A.; TELIS-ROMERO, J.; HIGUITA, D. M. C.; TELIS, V. R. N. Effect of maltodextrin on the freezing point and thermal conductivity of uvaia pulp (*Eugenia piriformis* Cambess). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n.1, p. 78-85, 2012.

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, 2010.

VRIESMANN, L. C.; SILVEIRA, J. L. M.; PETKOWICZ, C. L. O. Chemical and rheological properties of a starch-rich fraction from the pulp of the fruit cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). **Materials Science and Engineering C**, v. 29, n. 2, p. 651-656, 2009.

Apêndice A

Tabela A.1 – Análise de variância da viscosidade aparente na temperatura de 25 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotação (F1)	5	147806536111.1	29561307222.2	482,7255 **
Teor de água (F2)	3	267042592777.8	89014197592.6	1453,5699 **
Interação (F1 x F2)	15	13146897222,22	876459814,815	14,3123 **
Tratamentos	23	427996026111,1	18608522874,4	303,8705**
Resíduo	48	2939440000,000	61238333,3333	
Total	71	430935466111.1		

** significativo a 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 da viscosidade aparente na temperatura de 30 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotação (F1)	5	98093097107,74	19618619421,6	160,9707 **
Teor de água (F2)	3	294036309907,3	98012103302,4	804,1889 **
Interação (F1 x F2)	15	19820232617,65	1321348841,18	10,8417 **
Tratamentos	23	411949639632,7	17910853897,1	146,9585**
Resíduo	48	5850094535,333	121876969,486	
Total	71	417799734168.0		

** significativo a 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 viscosidade aparente na temperatura de 35 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotação (F1)	5	73841213226,28	14768242645,3	539,1405 **
Teor de água (F2)	3	145970922256,5	48656974085,5	1776,3078 **
Interação (F1 x F2)	15	14368296225,06	957886415,004	34,9693 **
Tratamentos	23	234180431707,8	10181757900,3	371,7029 **
Resíduo	48	1314825460,000	27392197,0833	
Total	71	235495257167,8		

** significativo a 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 viscosidade aparente na temperatura de 40 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotação (F1)	5	56544521051,74	11308904210,4	198.7230 **
Teor de água (F2)	3	111976768620,7	37325589540,2	655.8949 **
Interação (F1 x F2)	15	7276474030,542	485098268,703	8.5243 **
Tratamentos	23	175797763703,0	7643381030,57	134.3115 **
Resíduo	48	2731578378,000	56907882,8750	
Total	71	178529342081,0		

** significativo a 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.5 – Análise de variância da viscosidade aparente na temperatura de 45 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotação (F1)	5	51244522878,40	10248904575,7	260,0967 **
Teor de água (F2)	3	101789777755,2	33929925918,4	861,0738 **
Interação (F1 x F2)	15	5976259228,097	398417281,87	10,1110 **
Tratamentos	23	159010559861,7	6913502602,68	175,4509 **
Resíduo	48	1891401683,333	39404201,7361	
Total	71	160901961545,0		

** significativo a 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 viscosidade aparente na temperatura de 50 °C em diferentes velocidades de rotação e teores de água

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Rotação (F1)	5	51244522878,40	10248904575,7	260,0967 **
Teor de água (F2)	3	101789777755,2	33929925918,4	861,0738 **
Interação (F1 x F2)	15	5976259228,097	398417281,873	10,1110 **
Tratamentos	23	159010559861,7	6913502602,68	175,4509 **
Resíduo	48	1891401683,333	39404201,7361	
Total	71	160901961545,0		

** significativo a 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

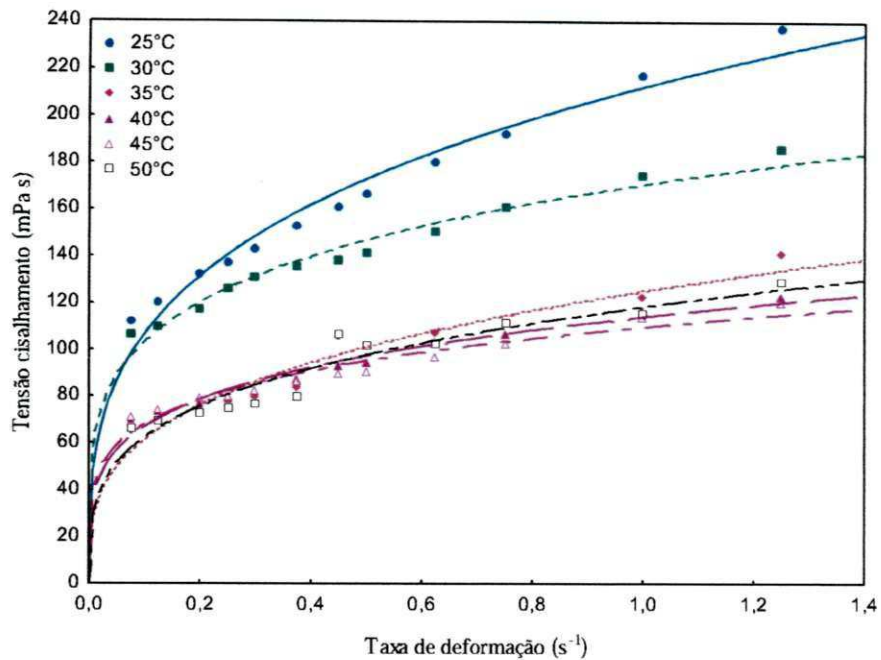


Figura B.1 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 55% de teor de água, com os ajustes pelo modelo de Ostwald-de-Waele

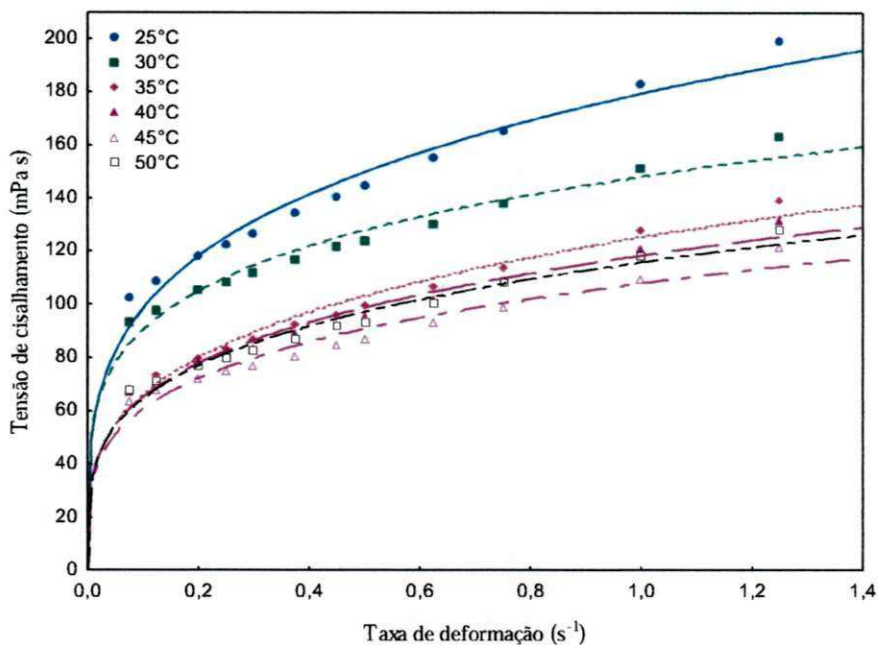


Figura B.2- Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 60% de teor de água, com os ajustes pelo modelo de Ostwald-de-Waele

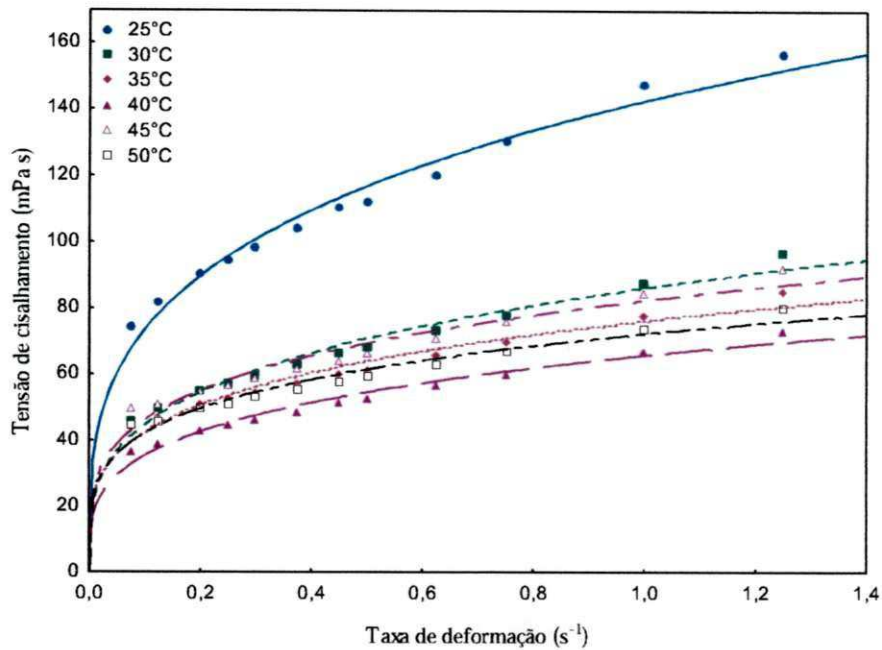


Figura B.3- Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 65% de teor de água, com os ajustes pelo modelo de Ostwald-de-Waele

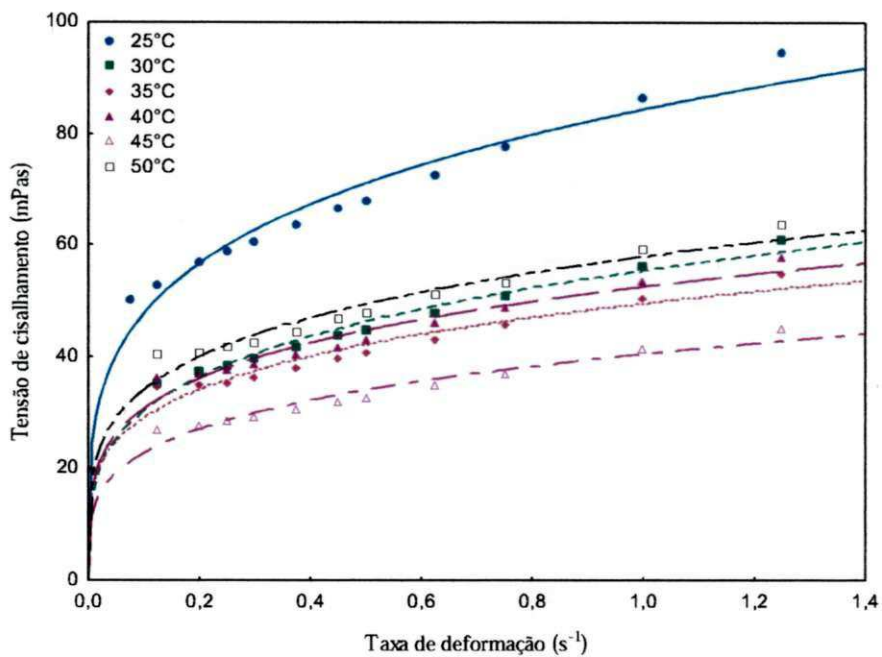


Figura B.4 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 70% de teor de água, com os ajustes pelo modelo de Ostwald-de-Waele

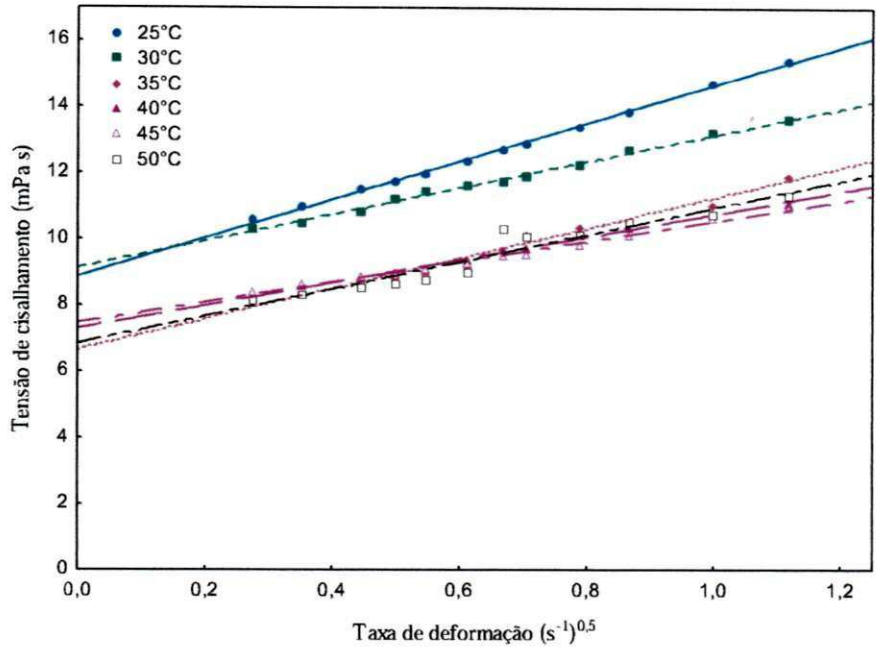


Figura B.5- Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 55 % de teor de água, com os ajustes para modelo de Casson

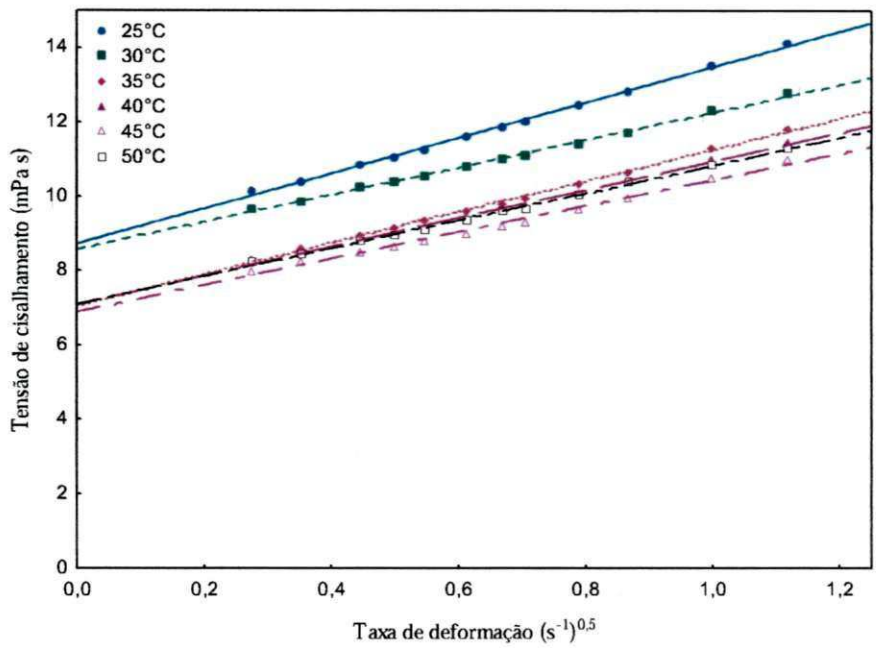


Figura B.6 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 60 % de teor de água, com os ajustes para modelo de Casson

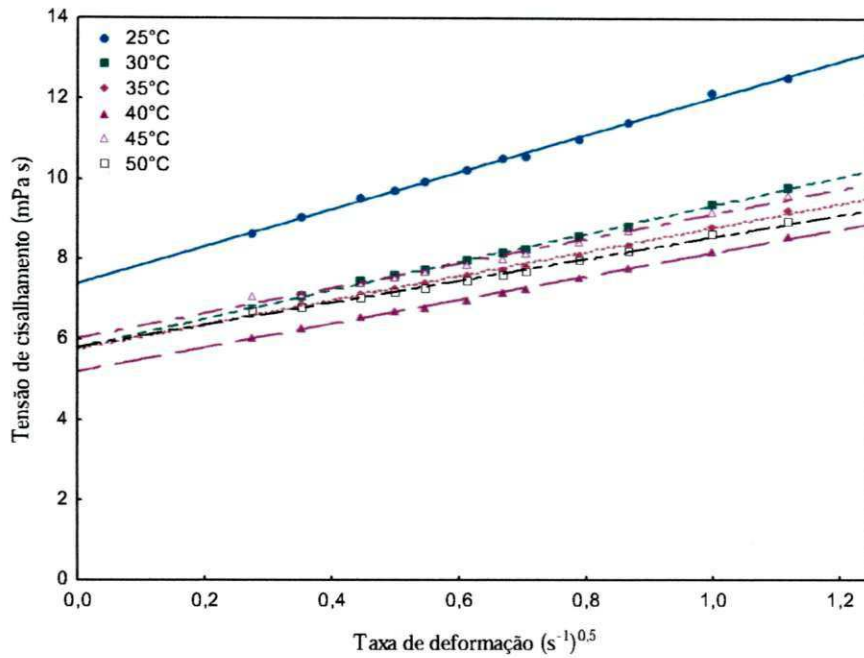


Figura B.7- Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 65 % de teor de água, com os ajustes para modelo de Casson

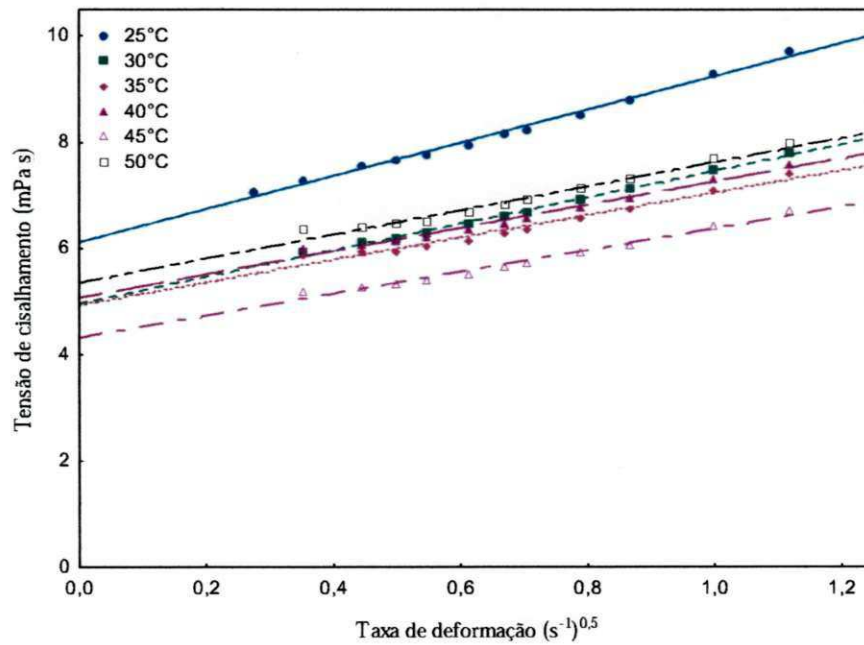


Figura B.8- Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 70 % de teor de água, com os ajustes para modelo de Casson

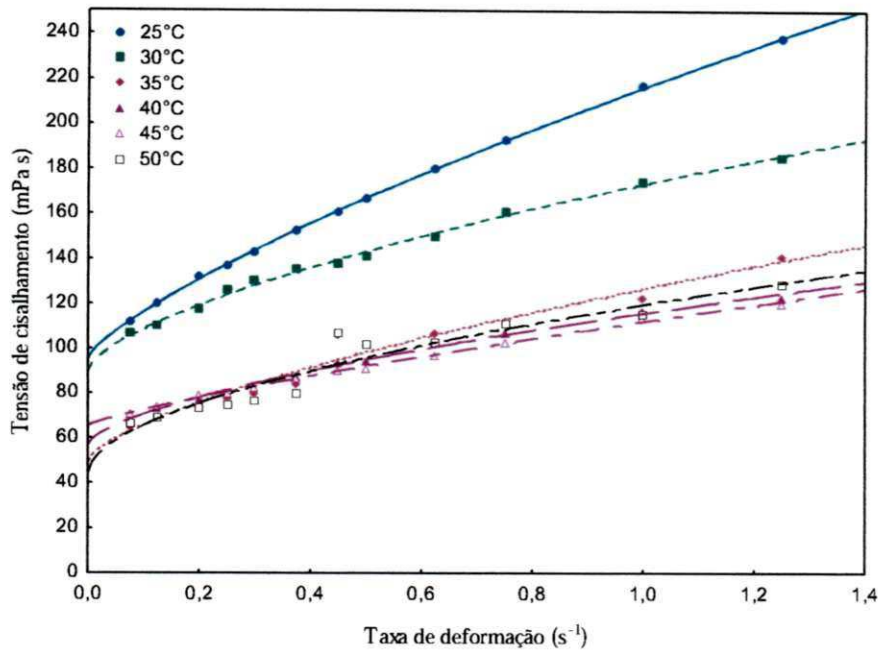


Figura B.9- Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 55% de teor de água, com os ajustes para modelo de Herschel-Bulkley

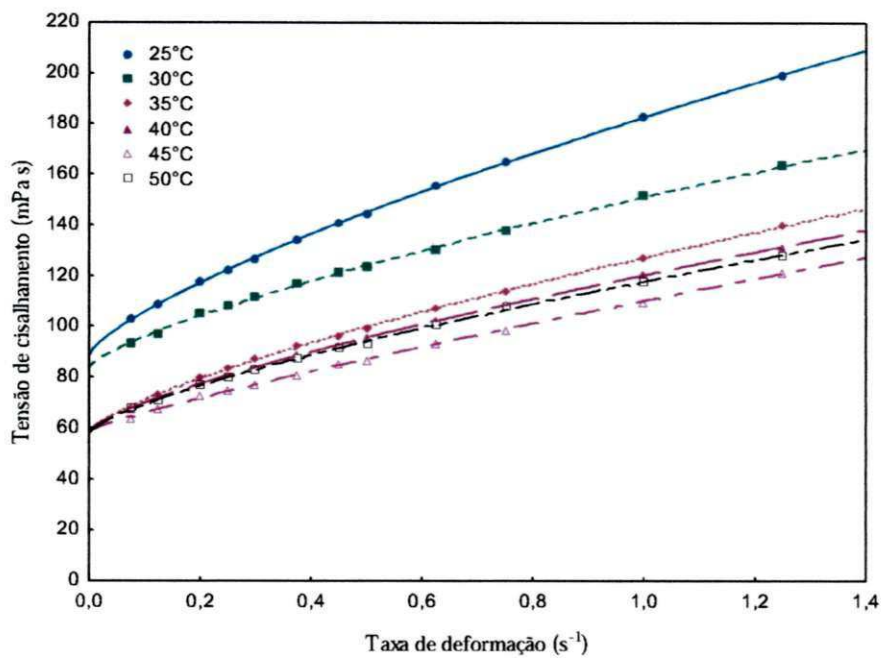


Figura B.10- Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 60% de teor de água, com os ajustes para modelo de Herschel-Bulkley

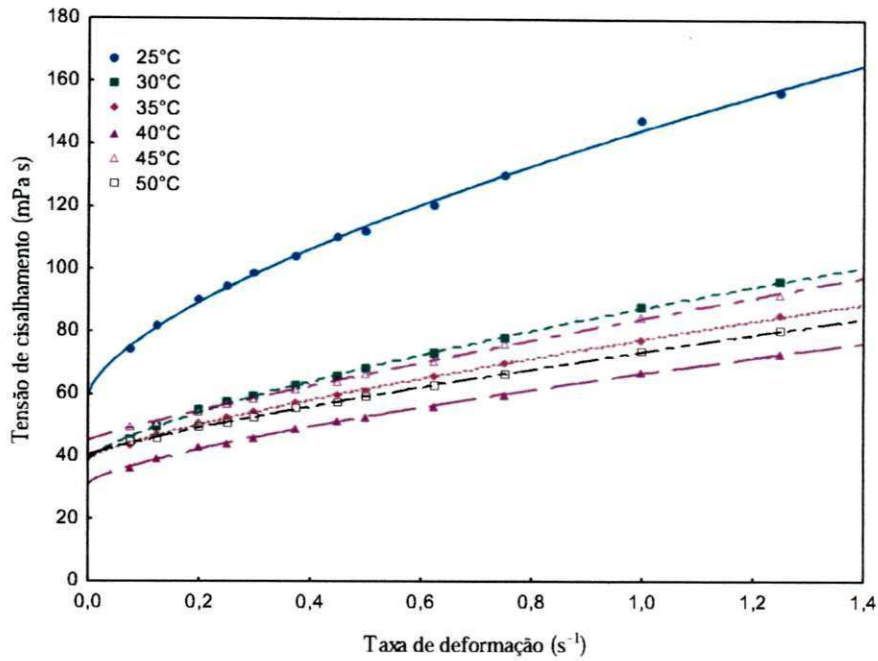


Figura B.11- Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 65% de teor de água, com os ajustes para modelo de Herschel-Bulkley

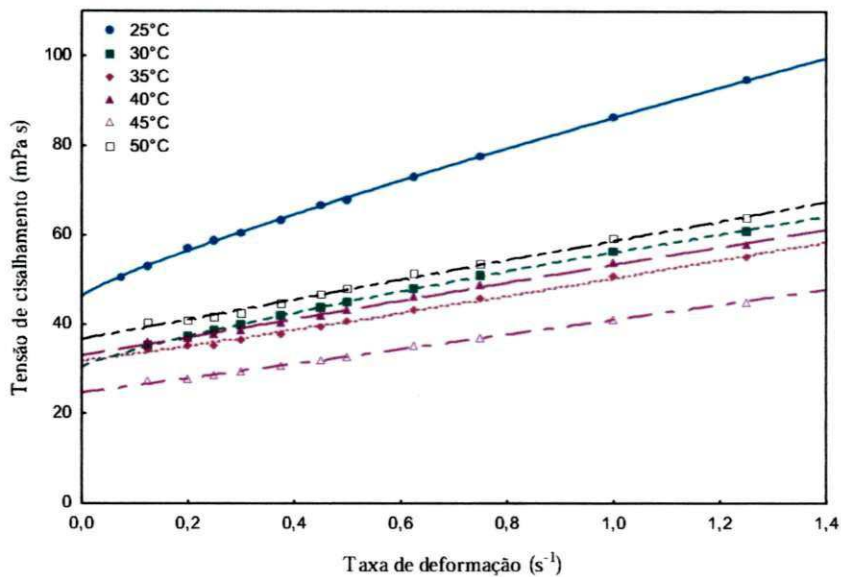


Figura B.12 - Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 70% de teor de água, com os ajustes para modelo de Herschel-Bulkley

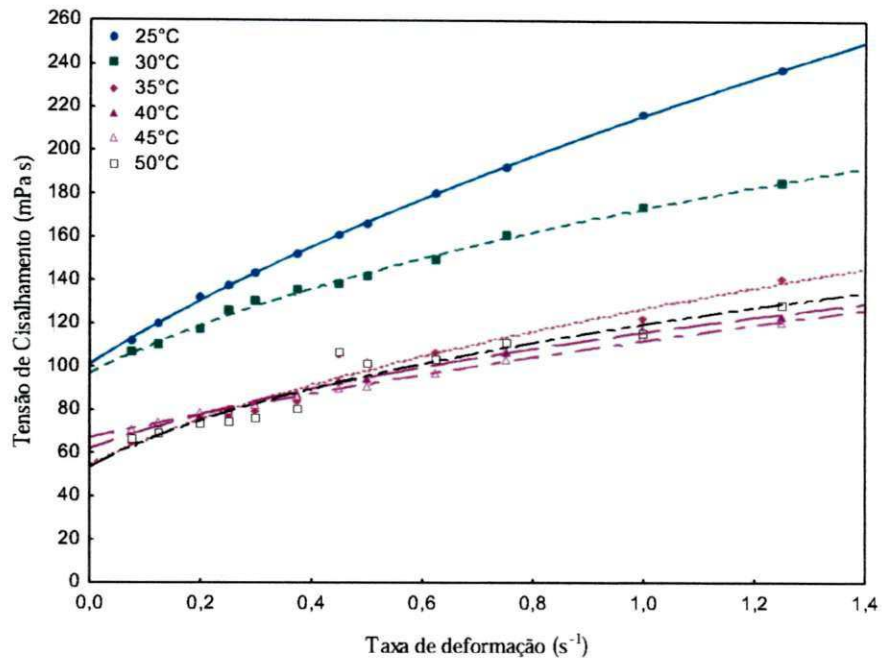


Figura B.13- Relação entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 55% de teor de água, com os ajustes para modelo de Vocadlo

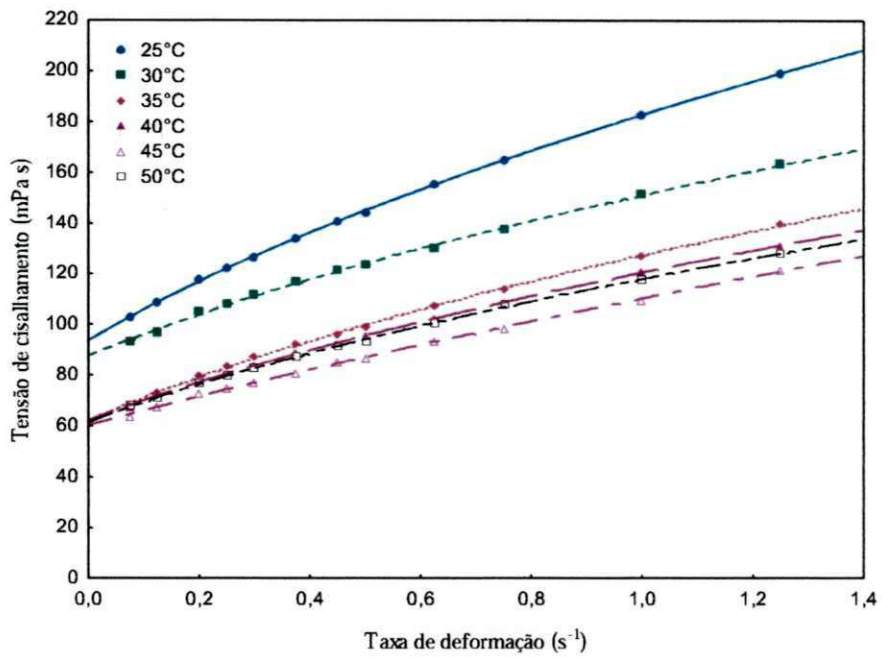


Figura B.14- Relação entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 60% de teor de água, com os ajustes para modelo de Vocadlo

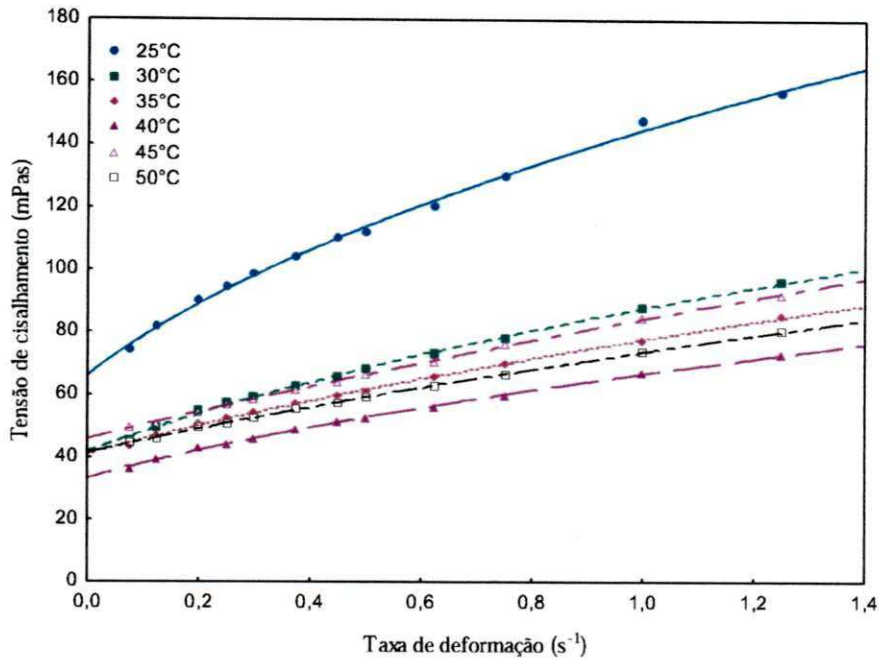


Figura B.15- Relação entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 65% de teor de água, com os ajustes para modelo de Vocablo

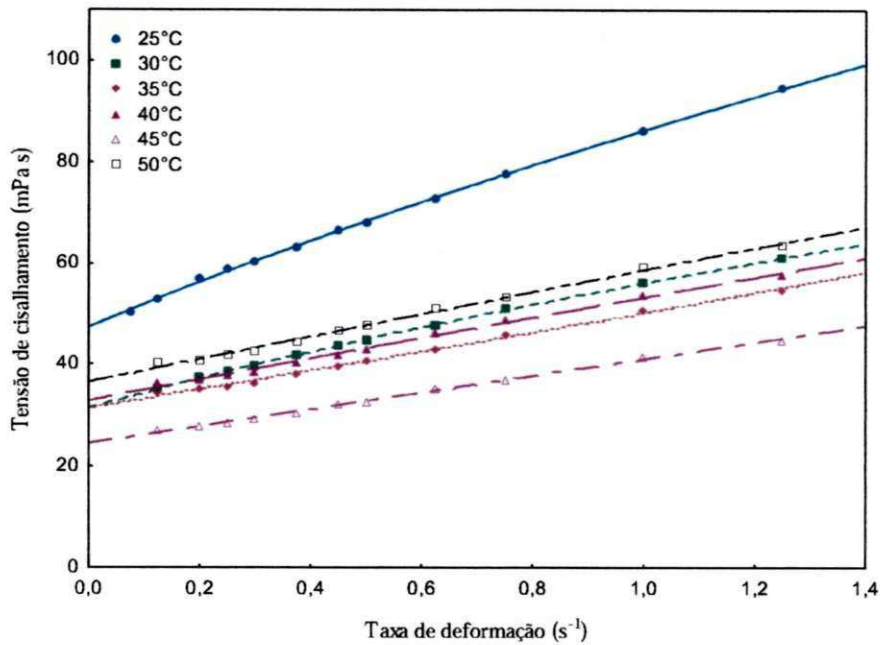


Figura B.16- Relação entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de pequi com 70% de teor de água, com os ajustes para modelo de Vocablo

Apêndice C

Tabela C.1 – Análise de variância do calor específico da polpa de pequi em diferentes temperaturas e teores de água

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	4	11,35788	2,83947	4812,6596 **
Teor de água (F2)	3	0,18348	0,06116	103,6638 **
Interação (F1 x F2)	12	0,10146	0,00845	14,3300 **
Tratamentos	19	11,64282	0,61278	1038,6100 **
Resíduo	40	0,02360	0,00059	
Total	59	11,66642		

** significativo a 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 C.2 – Análise de variância da difusividade térmica da polpa de pequi em diferentes teores de água

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	0,01149	0,00383	76,6111 **
Resíduo	8	0,00040	0,00005	
Total	11	0,01189		

** significativo a 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

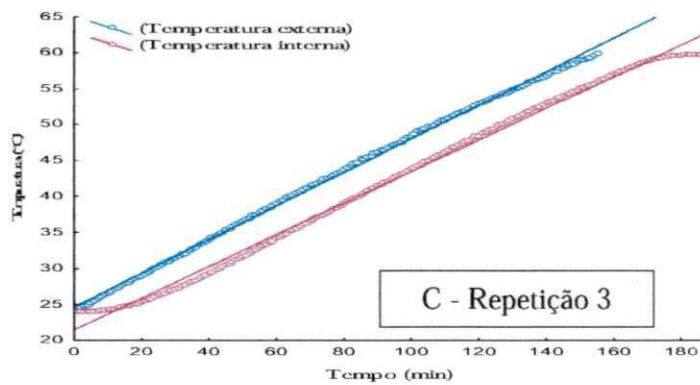
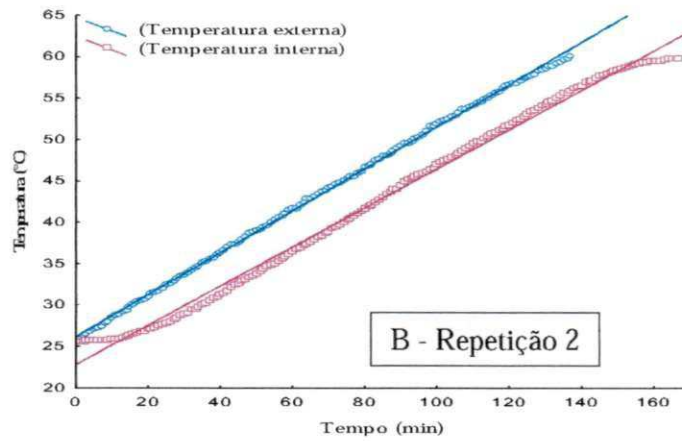
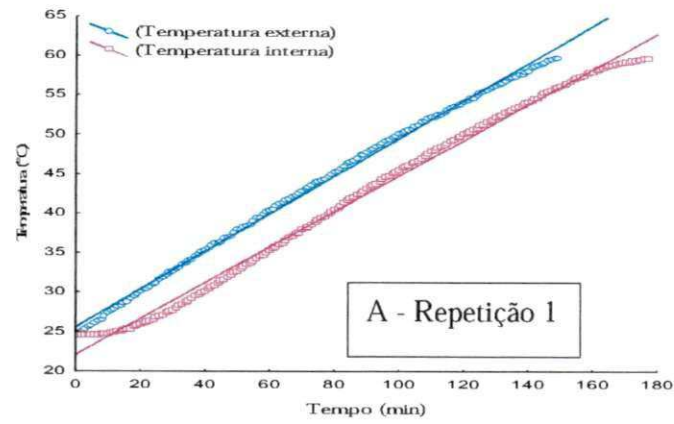


Figura C.1 – Temperatura no centro da polpa de pequi (55% de teor de água) e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo

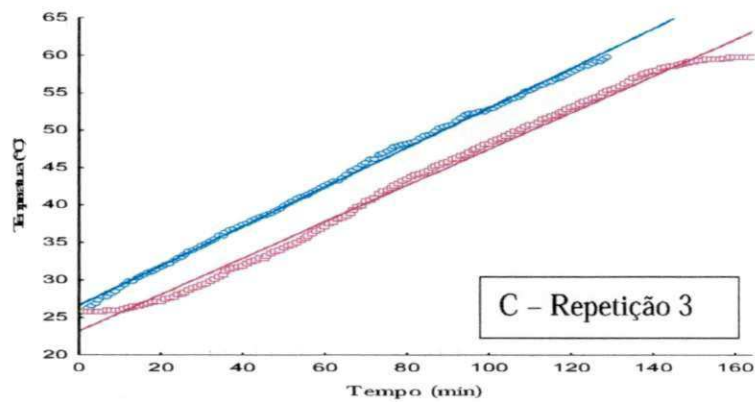
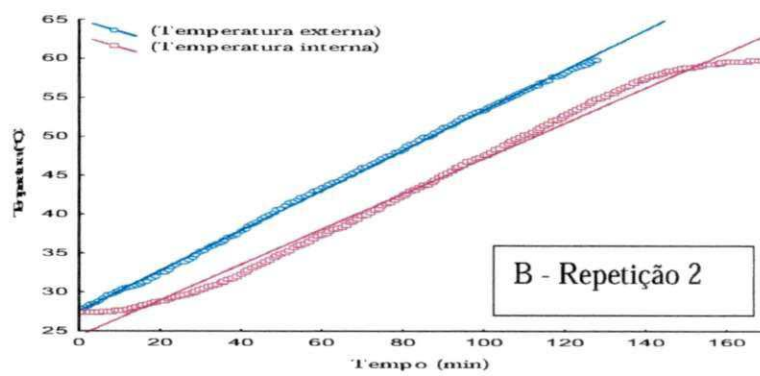
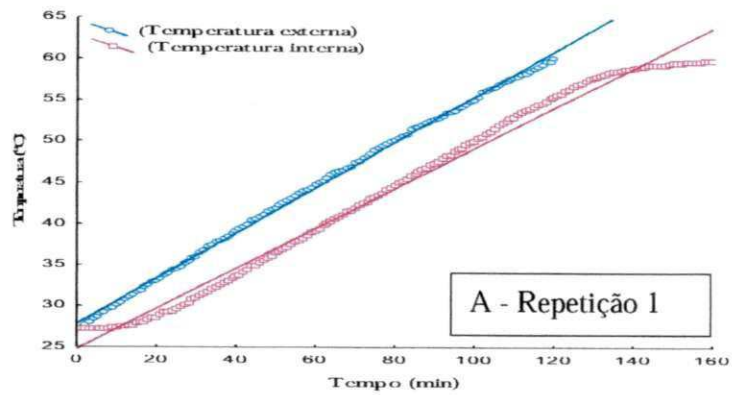


Figura C.2 – Temperatura no centro da polpa de pequi (60% de teor de água) e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo

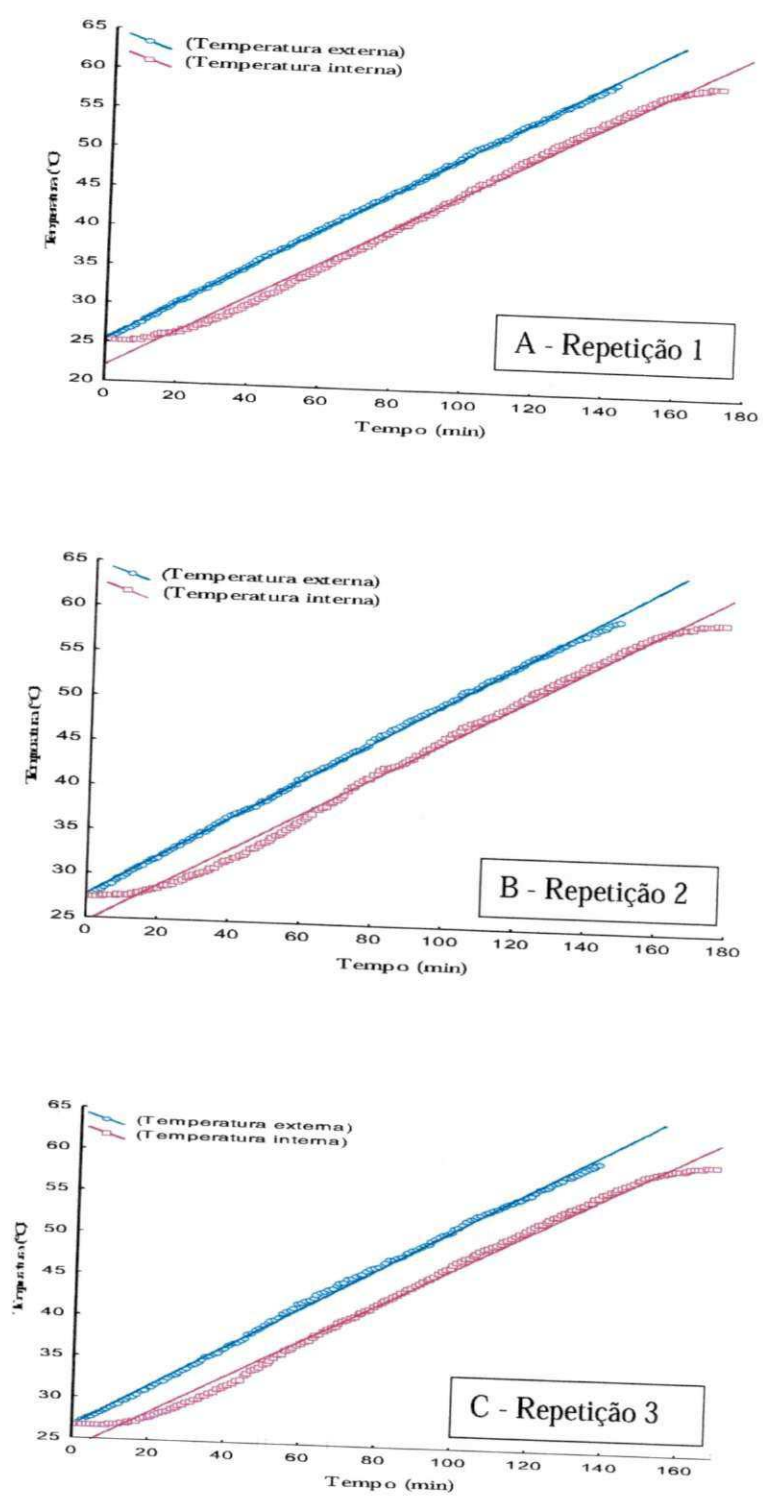


Figura C.3 – Temperatura no centro da polpa de pequi (65% de teor de água) e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo

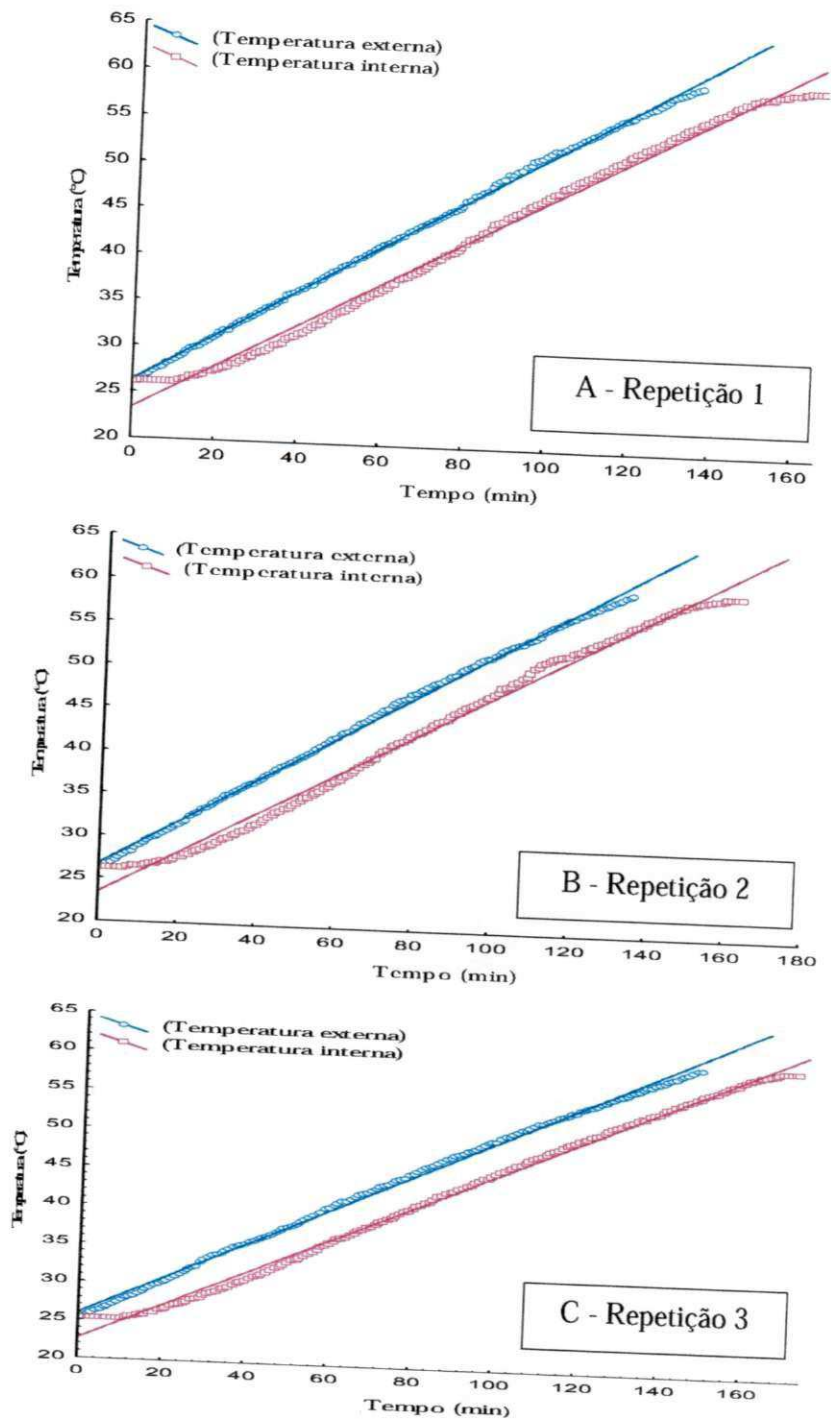


Figura C.4 – Temperatura no centro da polpa de pequi (70% de teor de água) e na superfície do cilindro de Dickerson, em função do tempo